



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

COORDINACIÓN GENERAL ACADÉMICA

Coordinación de Bibliotecas

Biblioteca Digital

La presente tesis es publicada a texto completo en virtud de que el autor ha dado su autorización por escrito para la incorporación del documento a la Biblioteca Digital y al Repositorio Institucional de la Universidad de Guadalajara, esto sin sufrir menoscabo sobre sus derechos como autor de la obra y los usos que posteriormente quiera darle a la misma.

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS**

**DIVISIÓN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**

**DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA Y ZOOLOGÍA**



**Symphyleona Börner, 1901 (Collembola) de México y relaciones  
filogenéticas de la familia Dicyrtomidae Börner, 1906 inferidas  
por secuencias de ADN**

**Tesis Presentada por el Sustentante:**

**C. CÉSAR SALVADOR MAGAÑA MARTÍNEZ**

**Como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:**

**DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOSISTEMÁTICA, ECOLOGÍA  
Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AGRÍCOLAS**

**Zapopan, Jalisco**

**Marzo. 2020**

---



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS**

**BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS**

**DIVISIÓN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**

**DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA Y ZOOLOGÍA**



**Symphyleona Börner, 1901 (Collembola) de México y relaciones  
filogenéticas de la familia Dicyrtomidae Börner, 1906 inferidas  
por secuencias de ADN**

**Tesis Presentada por el Sustentante:**

**C. CÉSAR SALVADOR MAGAÑA MARTÍNEZ**

**Como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:**

**DOCTOR EN CIENCIAS EN BIOSISTEMÁTICA, ECOLOGÍA  
Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AGRÍCOLAS**

**DIRECTOR**

**Dr. José Luis Navarrete Heredia**

**Universidad de Guadalajara**

**México**

**CODIRECTOR**

**Dr. José Guadalupe Palacios Vargas**

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Zapopan, Jalisco**

**Marzo. 2020**

---

## **DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD**

**A quien corresponda:**

Por este conducto el abajo firmante, autor del Trabajo Recepcional (Tesis) titulado: **Symphyleona Börner, 1901 (Collembola) de México y relaciones filogenéticas de la familia Dicyrtomidae Börner, 1906 inferidas por secuencias de ADN**, declaro que el contenido del mismo constituye un documento inédito y original por lo que cumple con los términos de originalidad a los que se hace mención en el Artículo 73 del Reglamento General de Posgrado y el Artículo 14 Fracción I del Reglamento General de Titulación de la Universidad de Guadalajara.

**ATENTAMENTE**

César Magaña Martínez

Zapopan, Jalisco. 13 de noviembre de 2020

**Biól. César Salvador Magaña Martínez**

Código: 398466819

**JUNTA ACADÉMICA DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOSISTEMÁTICA  
ECOLOGIA Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES Y AGRÍCOLAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA Y ZOOLOGÍA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES.  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS.  
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

**PRESENTE**

Por este medio nos permitimos informas a ustedes que habiendo revisado el trabajo de Tesis de DOCTORADO, titulada: **Symphyleona (Collembola) de México y relaciones filogenéticas de la familia Dicyrtomidae inferidas por secuencias de ADN**, que realizó el sustentante **César Salvador Magaña Martínez** con código: **398466819**, este comité abajo firmante consideramos que el trabajo ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión y, en su caso, programación de fecha de examen de titulación respectivo.

Sin otro particular agradecemos de antemano la atención que se sirva brindar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**Atentamente**

**Zapopan. Jalisco a 13 de noviembre de 2020**

**LUGAR Y FECHA**



---

Dr. José Luis Navarrete Heredia

Director de Tesis



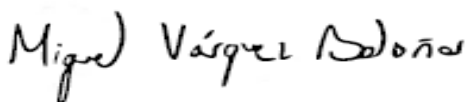
---

Dr. José Guadalupe Palacios Vargas  
Co-Director



---

Dr. Eduardo Ruiz Sánchez  
Sinodal interno



---

Dr. Miguel Vásquez Bolaños  
Sinodal interno



---

Dr. Daniel Sánchez Carbajal  
Sinodal externo



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Secretaría Académica

Coordinación de Posgrado

Coordinación del doctorado en Biosistemática, con Orientación en Biosistemática y Productos Bióticos

**C. Cesar Salvador Magaña Martínez**  
**ALUMNO DEL DOCTORADO BEMARENA**  
**PRESENTE**

El Grupo de Apoyo en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BEMARENA) designa de acuerdo al Reglamento General del Posgrado, y a los lineamientos internos del programa, a los integrantes de su Jurado del examen doctoral, a los siguientes:

<b>Dr. José Luis Navarrete Heredia</b>	Director de Tesis
<b>Dr. José Guadalupe Palacios Vargas</b>	Co-Director
<b>Dr. Eduardo Ruiz Sánchez</b>	Sinodal interno
<b>Dr. Miguel Vásquez Bolaños</b>	Sinodal interno
<b>Dr. Daniel Sánchez Carbajal</b>	Sinodal externo

Deberá entregar a cada uno de los sinodales una copia de esta acta de designación de sinodales, acompañando al manuscrito de la tesis. Los sinodales contarán con máximo 30 días naturales para la revisión del manuscrito.

Sin otro particular, se le envía un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

"Piensa y Trabaja"

Las Agujas, Zapopan, Jalisco, 13 de noviembre del 2020.

**Dr. Eduardo Ruiz Sánchez**  
Responsable de la Orientación de  
Biosistemática y Productos Bióticos del Doctorado BEMARENA.

Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100, C.P. 45510  
Predio Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.  
Commutador 3777-1150 Ext: 33278

[www.cucba.udg.mx](http://www.cucba.udg.mx)

*Un gran poder conlleva a  
una gran responsabilidad*

**Stan Lee**



## AGRADECIMIENTOS

Al posgrado BEMARENA por la gran oportunidad que me otorgó para realizar la especialización de mi carrera. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme las becas de posgrado y de movilidad en los 5 años del doctorado (CVU/Becario): 631861/334837.

A los miembros de mi comité: Dr. José G. Palacios Vargas, Dr. José Luis Navarrete Heredia, Dr. Eduardo Ruiz Sánchez, Dr. Hugo Harlan Mejía Madrid y Dr. Miguel Vásquez Bolaños por sus comentarios y apoyo en realizar de mejor manera el proyecto y por revisar esta tesis.

Al Laboratorio Nacional de Identificación y Caracterización Vegetal (LaniVeg), al Dr. Aarón Rodríguez Contreras, en especial a la Dra. Pilar Zamora Tavares por el gran apoyo técnico y permitir el uso de sus instalaciones para realizar extracción, amplificación y secuenciación para la presente investigación.

A la M. en C. Fabiola Ramírez Corona, técnico del Laboratorio de Sistemática y Biogeografía del Departamento de Biología Evolutiva de la Facultad de Ciencias de la UNAM, por permitirme realizar una estancia académica con su gran asesoramiento para aprender y utilizar las técnicas moleculares, también a la misma UNAM por autorizar el uso de sus instalaciones durante esas estancias.

A todos los que han sido parte fundamental en mi desarrollo profesional:

-Dr. Palacios, usted fue el primero en abrirme la puerta al micromundo de los colémbolos y siempre ha tenido tiempo de enseñarme lo referente a estos bichos, su apoyo de todo tipo ha sido el pilar principal desde la licenciatura hasta el doctorado, su amistad también es de gran importancia en mi vida.

-Dra. Blanca Mejía Recamier, por darme las primeras herramientas para hacer las preparaciones y montaje de los ejemplares y sobre todo esos pasteles que preparaba siempre que iba de estancia al laboratorio de la UNAM.

-Dra. Gabriela Castaño, gracias por todos sus consejos, enseñanzas y apoyo que me ha dado desde el día que nos conocimos.

-Dr. Miguel Vásquez Bolaños, fuiste el primero en adentrarme al mundo de los Artrópodos, en tu clase aprendí cual iba a ser el grupo que en algunos años me iba a especializar, también por ser un gran amigo.

-M. en C. Hugo Fierros López, quien en la licenciatura fue mi maestro de insectos y durante los cinco años del doctorado compartimos el espacio de trabajo en la colección, siempre que había alguna duda de cualquier tema volteabas tu silla para resolver la duda hacer debate o hacer la broma sobre la misma, gracias por tu gran amistad y algún día se harán las gomitas de Colémbolos.

- Dr. Eduardo Ruiz Sánchez, gran amigo y maestro, con tus clases de sistemática aprendí lo necesario para terminar el proyecto, además de que los días de futbol siempre hicieron las semanas alegres.

-Dr. Navarrete, quien fue mi co-director en el posgrado y del cual obtuve mucho conocimiento en esta parte de mi vida.

-Dr. Hugo Mejía Madrid, con el poco tiempo que llevamos de conocernos, has ayudado mucho siendo parte de mi comité y en las estancias que realicé, dando consejos para mejorar el trabajo.

- A todos los profesores que tuve en el posgrado BEMARENA.

- Todos los amigos que hice en el Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la UNAM, que siempre me ayudaron a que las estancias académicas se llevaran y terminaran de la mejor manera. Arturo, Ángela, Alicia, Ricardo, Alicia, Daniela, Fernando, Mayra.

-A todos los amigos y compañeros del posgrado, con quien compartí estos cinco años; Javier, William, Benjamín, José Luis, Jessica, Iskra, Rosaura, Diana, Adilson, Memo.

Finalmente a toda mi familia, por darme cariño, educación y valores de la vida.

A mis padres Don Chava y Doña Rosa, por darme la educación desde el inicio de mi vida, por apoyarme en cada etapa de la misma, sobre todo en la profesional, sin su trabajo y esfuerzo, nada de esto se pudo haber terminado.

Laura e Iker, que llegaron en la etapa del posgrado a crecer la familia y llenar más de cariño la vida.

A mis hermanas, tíos, tías, primos, Don Rafa y Doña Tere, que siempre me han llevado por una vida honesta y feliz.

**Symphyleona Börner, 1901 (Collembola) de México y relaciones filogenéticas de la familia Dicyrtomidae Börner, 1906 inferidas por secuencias de ADN**  
**César Salvador Magaña Martínez**

**RESUMEN**

Se analizó la diversidad, riqueza y distribución geográfica de las especies de los colémbolos *Symphyleona* de México. Los datos se obtuvieron tras la revisión de trabajos taxonómicos, la base de datos de la Colección de Collembola del Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, UNAM y la base de datos de Colémbolos del mundo para ver la distribución global de las especies de interés. Destaca el registro de 28 géneros y 73 especies. Los cuales se distribuyen en 23 de los 32 estados de México, en donde el estado de Quintana Roo representa el estado más diverso con 27 especies documentadas. Se elaboró una lista taxonómica que incluye la actualización de la nomenclatura, distribución por entidad política y preferencias de hábitat para cada especie de México y una comparación de la distribución mundial con registros de las especies de *Symphyleona* por cada región biogeográfica. También se realizaron análisis de tipo bayesiano y de máxima verosimilitud con secuencias de ADN de los genes 28s y 18s, se utilizaron los géneros más representativos de la familia Dicyrtomidae, con el objetivo de conocer una aproximación sobre las relaciones filogenéticas que tienen los dicyrtómidos con las familias: Arrhopalitidae, Katiannidae y Sminthuridae las cuales son consideradas por otros autores como grupos cercanos por su similitud morfológica. Sin embargo, a un nivel molecular no se tiene información que lo sustente. Se extrajo ADN de 40 individuos correspondientes a 20 especies, que representan los géneros más importantes para las familias del presente estudio. Del análisis de las secuencias de ADN se obtuvieron los mejores árboles para los genes 18s y 28s, al compararlos se observó una diferencia significativa entre ambos genes, aunque en promedio con buen soporte en general (pp 85%-86%). Los resultados sobre las relaciones de Dicyrtomidae con otras familias resultan inconclusos esto debido a la presencia de varias politomias en los clados con las especies, tanto para las secuencias obtenidas de genbank como para las que se generaron de ejemplares colectados en este estudio. Se propone que para tener una mejor resolución sobre las relaciones de la familia Dicyrtomidae con respecto a las propuestas en la hipótesis, se deben hacer uso de otros genes como el COI o una secuenciación masiva.

**Symphyleona Börner, 1901 (Collembola) from Mexico and  
phylogenetic relationships of the Dicyrtomidae Börner  
family, 1906 inferred by DNA sequences  
César Salvador Magaña Martínez**

**ABSTRACT**

The diversity, richness and geographic distribution of the species of the Collembola Symphyleona of Mexico were analyzed. The data were obtained after the review of taxonomic works, the database of the Collembola Collection of the Laboratory of Ecology and Systematics of Microarthropods, UNAM and the database of Collembola of the world to see the global distribution of the species of interest. The record of 28 genera and 73 species stands out. Distributed in 23 of the 32 states of Mexico, where the state of Quintana Roo represents the most diverse state with 27 documented species. A taxonomic list was prepared that includes the update of the nomenclature, distribution by political entity and habitat preferences for each species in Mexico and a comparison of the world distribution with records of Symphyleona species for each biogeographic region. Bayesian-type and maximum likelihood analyzes were also carried out with DNA sequences of the 28s and 18s genes, the most representative genera of the Dicyrtomidae family were used, with the aim of knowing an approximation on the phylogenetic relationships that dicyrthomids have with the families: Arrhopalitidae, Katiannidae and Sminthuridae which according to those postulated by other authors at a morphological level are the closest, but at a molecular level there is no information to support it. DNA was extracted from 40 individuals corresponding to 20 species, which represent the most important genera for the families of the present study. From the analysis of the DNA sequences, the best trees for the 18s and 28s genes were obtained, when comparing them a significant difference was observed between both, although on average with good support in general (pp 85% -86%). The results on the relationships of Dicyrtomidae with other families are inconclusive due to the presence of several polytomies in the clades with the species, both for the sequences obtained from the genbank and for those generated from specimens collected in this study. It is proposed that in order to have a better resolution on the relationships of the Dicyrtomidae family with respect to those proposed in the hypothesis, other genes such as COI or massive sequencing should be used.

## TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	i
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Reseña de capítulos.....	1
<b>CAPÍTULO 1.</b> Introducción general.....	3
1.1 Generalidades de Collembola.....	3
1.2 Taxonomía y diversidad.....	4
1.3 Sistemática de Symphypleona.....	4
1.4 Familia Dicyrtomidae.....	7
1.5 Objetivos.....	7
1.6 Hipótesis.....	7
1.7Literatura citada.....	8
<b>CAPÍTULO 2.</b> Synthesis of Mexican Symphypleona (Hexapoda: Collembola): updated checklist with ecological and geographical distribution.....	10
2.1 Introduction.....	11
2.2 Methods.....	11
2.3 Results and Discussion.....	12
2.4 Literature cited.....	22
<b>CAPÍTULO 3.</b> Relaciones filogenéticas de la familia Dicyrtomidae (Collembola: Symphypleona) inferidas por secuencias de ADN.....	27
3.1 Introducción.....	28
3.2 Materiales y Métodos.....	30
3.3 Resultados.....	35
3.4 Discusión.....	39
3.5 Conclusiones.....	41
3.6Literaturacitada.....	42
<b>CAPÍTULO 4.</b> Conclusiones generales.....	45
4.1 Symphypleona en México.....	45
4.2 Relaciones filogenéticas.....	45
4.3 Literatura citada.....	46

## LISTA DE FIGURAS

- Figura. 3.1. Topología del árbol de consenso del gen 18s a partir de un análisis por Inferencia Bayesiana. Los números sobre cada rama representan el valor de probabilidad posterior (valores cercanos a 1 representan el 100% de certidumbre en la hipótesis planteada).....38
- Figura. 3.2. Topología del árbol de consenso del gen 28s obtenido por Inferencia Bayesiana con 10 millones de generaciones cada una. Los números sobre cada rama representan el valor de probabilidad posterior (valores cercanos a 1 representan el 100% de certidumbre en la hipótesis planteada).....39

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.1. Clasificación de las familias de Symphypleona según diferentes autores.....5
- Cuadro 3.1. Información de especies utilizadas en este estudio. Grupos externos (\*).  
Especie colectada en México.....32

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 3.1. Primers utilizados en la amplificación y secuenciación .....31

## RESEÑA DE CAPÍTULOS

La tesis está dividida en cuatro capítulos que brevemente se describen a continuación.

En el primer capítulo, el cual funge como parte introductoria, se presenta una síntesis general de las generalidades del Collembola, su importancia, taxonomía y diversidad mundial y en México.

El capítulo 2, corresponde a una lista actualizada de las especies de Symphypleona que históricamente se han registrado en México, así como para actualizar los nombres científicos de las especies que taxonómicamente han cambiado. Esta lista también contiene datos de hábitats, distribución en el país y en la bioregiones del mundo en el que han sido registradas especies del grupo, por lo tanto tiene una gran importancia de referencia para evaluar futuros cambios en el orden, y contribuye al conocimiento de la diversidad de colémbolos de México.

En el capítulo 3, se aborda un estudio realizado para la Familia Dicyrtomidae y las relaciones filogenéticas que guardan con otras familias de Symphypleona, utilizando caracteres basados en secuencias de ADN de las regiones 18S y 28S con el objetivo de determinar cuál de las familias: Katiannidae, Sminthuridae y Arrhopalitidae tienen la relación más cercana con los Dicyrtómidos a un nivel más allá del morfológico. Con esto se pone a prueba la hipótesis de lo mencionado en la literatura basado en estudios con caracteres morfológicos.

En el capítulo 4 se discuten los resultados más relevantes de esta tesis, su importancia y diversidad y distribución de los Symphypleona en México. También sobre lo encontrado al analizar las secuencias de ADN de las regiones 18s y 28s para el análisis filogenético de la familia Dicyrtomidae.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

## 1.1 Generalidades de Collembola

Los colémbolos son microartrópodos de 0.12-17 mm de longitud (Bellinger *et al.* 1996–2020) que, después de los ácaros, constituyen el grupo de organismos más abundante en el suelo en ambientes con buena humedad y materia orgánica (50,000+ind/m<sup>2</sup>) (Hopkin 1997). Son un grupo cosmopolita, teniendo la capacidad de colonizar cualquier hábitat que les provee de los requerimientos necesarios para vivir: suelo, hojarasca, musgos, hepáticas, hongos, cortezas de árboles, troncos en descomposición, guano de murciélagos. Asimismo los podemos encontrar desde el nivel del mar hasta altitudes de más de 7,000 metros (Hopkin 1998). De hecho, son abundantes en todos los continentes, incluso en la Antártica (Palacios-Vargas *et al.* 2000). Sus hábitats preferidos son lugares con algo de humedad, como el suelo de los bosques, troncos en descomposición, hojarasca, hongos, nidos de insectos, e incluso, se han encontrado en nidos de aves y mamíferos (Vázquez- González y Palacios-Vargas, 2004). También en zonas áridas se pueden encontrar cantidades importantes de colémbolos, en las que pueden alcanzar densidades que van desde 2, 000 hasta los 30, 000 individuos por m<sup>2</sup> (Wallwork *et al.* 1985; Greenslade 2007), y junto con otros invertebrados constituyen elementos esenciales en estos ecosistemas por su papel en distintos procesos como el ciclo de nutrientes y la formación de suelo (Whitford 2000). La alimentación de los colémbolos es principalmente materia vegetal en descomposición o hifas de hongos. También existen especies que son depredadoras, alimentándose de nemátodos, ácaros e incluso otros colémbolos (Castaño-Meneses *et al.* 2004). De aquí la importancia del grupo para el ecosistema, ya que son excelentes descomponedores de la materia orgánica y participan en la integración y reciclaje de los nutrientes del suelo (Palacios-Vargas y Mejía-Recamier, 1990). Además, el suelo contiene gran cantidad de pellets, lo cual es de gran ayuda a las raíces de las plantas en la liberación de nutrientes, también son base de la cadena alimenticia, siendo presa de gran cantidad de insectos y otros artrópodos, entre los que destacan, ácaros, hormigas, pseudoescorpiones y dipluros, entre otros (Palacios-Vargas *et al.* 2000).

## 1.2 Taxonomía y diversidad

Los microartrópodos de la clase Collembola (Lubbock 1870) pertenecen a la superclase Hexapoda (Blainville, 1816). Los colémbolos se clasifican en cuatro órdenes.



Los de cuerpo alargado como Poduromorpha (Börner 1913) con antenas cortas y el protórax bien desarrollado y Entomobryomorpha (Börner 1913) que a diferencia de Poduromorpha presenta el protórax reducido. Los de cuerpo globoso como lo son Neelipleona (Massoud 1971) de tamaño pequeño con los segmentos abdominales V y VI no diferenciados y con las antenas muy cortas. El último orden Symphypleona (Börner 1901), son colémbolos de cuerpo globular, las antenas son iguales o más largas que la cabeza, con la fúrcula y el tenáculo bien desarrollados y en general el cuerpo está dividido en tres tagmas: cabeza claramente separada (primer tagma), los segmentos torácicos II y III y los segmentos abdominales I - VI o I - V fusionados formando el gran abdomen (segundo tagma) y el abdomen V – VI o solamente el VI claramente diferenciados del resto del abdomen formando un abdomen pequeño (tercer tagma) (Bretfeld 1999).

Se han descrito alrededor de 9,100 especies en todo el mundo, de las cuales aproximadamente 600 especies se han registrado en México (Palacios-Vargas 2014). Los colémbolos se clasifican en cuatro órdenes y 52 familias, el orden Entomobryomorpha resulta hasta ahora como el que más especies descritas tiene (+4,000) (Bellinger *et al.* 1996-2020).

A nivel mundial las especies registradas de Symphypleona ronda el número de 1,219 especies descritas, cuya distribución abarca todos los continentes, además de las regiones polares, pero en números de especies se encuentra situado en el penúltimo sitio de dentro de los cuatro órdenes de Collembola (Bellinger *et al.* 1996–2020).

En México en los últimos años, el estudio de los colémbolos ha tenido progresos considerables, las especies estrictamente documentadas son cerca de 700 (Palacios-Vargas 2014), y si se va a los registros de Symphypleona encontramos que el número total de especies es reducido, con únicamente 59 especies para 20 estados y con datos de distribución muy dudosos entre la información publicada, ya que muchas especies no han sido correctamente determinadas, Por lo tanto existen errores en las bases de datos de las colecciones nacionales. Es por esto que el capítulo II proporciona una lista actualizada de las especies descritas de Symphypleona que históricamente se han registrado en México, también se incluyen datos de riqueza y distribución por estado y hábitats de colecta más comunes para cada especie.

### **1.3 Sistemática de Symphypleona**

En lo que respecta a la sistemática del grupo, los trabajos que se han llevado a cabo con para las familias de Symphypleona son pocos, en su mayoría en años recientes

y aunque la información es muy buena, la sistemática es basada en caracteres morfológicos (Salmon 1964; Richards 1968; Betsch 1980; Brettfeld 1986; Deharveng 2004; Bellinger *et al.* 1996-2020), por lo que la propuesta a la sistemática de las familias tiene muchas diferencias entre los autores (Cuadro 1).

En la actualidad, los estudios basados en datos moleculares se han enfocado con mayor frecuencia, buscando resolver las relaciones filogenéticas entre las diferentes familias y especies de colémbolos. Para Symphypleona los trabajos filogenéticos dentro del orden han sido pocos, en su mayoría porque se han utilizado pocos representantes del grupo o géneros seleccionados que abarquen a un mayor número de especies de las familias más importantes del orden, ya que los trabajos no se han enfocado en resolver la filogenia de Symphypleona, si no para otros ordenes de Collembola (D'Haese 2002; Xiong *et al.* 2008; Schneider *et al.* 2011; Schneider & D'Haese 2013).

**Cuadro 1.1 Clasificación de las familias de Symphypleona según diferentes autores.**

Salmon 1964	Richards 1968	Brettfeld 1986	Deharveng 2004	Bellinger <i>et al.</i> , 1996- 2020
Symphypleona	Symphypleona	Symphypleona	Symphypleona	Symphypleona
Sminthuridae	Sminthuridae	Neelida	Arrhopalitidae	Sminthuroidea
Spinothecinae	Sminthuridinae	Eusymphypleona	Bourletiellidae	Mackenziellidae
Sminthurinae	Sphaeridiini	Sminthuridida	Dicyrtomidae	Sminthurididae
Arrhopalitini	Sminthuridini	Appendiciphora	Dicyrtominae	Katiannoidea
Katiannini	Katianninae	Katianniformia	Pterothricinae	Katiannidae
Sminthurini	Arrhopalitini	Spinothecida	Katiannidae	Spinothecidae
Bourletiellini	Katiannini	Katiannida	Mackenziellidae	Arrhopalitidae
Dicyrtominae	Dicyrtominae	Arrhopalitidae	Sminthuridae	Collophoridae
Sminthuridinae	Ptenothricini	Genera inc. Sed.	Sminthurinae	Sturmiodea
Neelidae	Dicyrtomini	Sminthuriformia	Sphyrothecinae	Sturmiidae
	Sminthurinae	Dicyrtomida	Sminthurididae	Sminthuroidea
	Vesicephalini	Tridentata	Spinothecidae	Sminthuridae
	Bourletiellini	Sminthurida	Sturmiidae	Sminthurinae
	Sminthurini	Bourletiellida		Sphynothecinae
				Bourletiellidae
				Dicyrtomoidea
				Dicyrtomidae
				Ptenothricinae
				Dicyrtominae

## 1.4 Familia Dicyrtomidae

La familia Dicyrtomidae Börner, 1906 dentro del orden Symphypleona es la tercera en número de especies descritas hasta el momento, con 207 que se han documentado en todo el mundo, solo por detrás de las familias: Sminthuridae (250 spp.), Bourletiellidae (245 spp.) respectivamente (Bellinger *et al.* 1996-2020).

Sistemáticamente la familia Dicyrtomidae se divide en dos subfamilias: Dicyrtominae (con 98 spp.) y Ptenothricinae (109 spp.), pero su relación cercana con otras familias ha estado en discusión, debido principalmente a la falta de estudios a profundidad en la misma (Bellinger *et al.* 1996- 2020).

Actualmente no existen filogenias basadas en datos moleculares para las especies de Dicyrtomidae, los pocos datos publicados abarcan un número muy reducido de especies y géneros de la familia, lo que se traduce en que existe poca resolución en las relaciones filogenéticas entre las familias cercanas y los géneros que componen la familia (D' Haese 2002; Schneider *et al.* 2011).

De tal modo, un análisis filogenético dirigido a este grupo y utilizando filogenias moleculares, ayudaran en gran medida a la resolución de problemas de índole taxonómico y filogenético. También se espera que este análisis genere información que contribuya a comprender el origen y diversificación de los Symphypleona.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Conocer la diversidad de los colémbolos Symphypleona en México y estimar las relaciones filogenéticas basadas en caracteres moleculares para Dicyrtomidae.

### **Objetivos particulares**

- Realizar una actualización del listado de especies de Symphypleona registradas para México, e incluir datos de su distribución y hábitats.
- Determinar las relaciones de la familia Dicyrtomidae con otras familias de Symphypleona, a partir de la reconstrucción filogenética del grupo, por medio del empleo de dos marcadores moleculares.

## **1.6. HIPÓTESIS**

Hasta el momento, la diversidad de Symphypleona en México está reconocida en 59 especies distribuidas en 20 estados de la República, sin embargo, no existe una revisión exhaustiva de la familia en el país, por lo que se espera que esta diversidad aumente en el número de especies y de estados presente. Por otra parte, y con base en la propuesta de Bretfeld (1986) (morfología), se espera que la familia Dicyrtomidae sea monofilética y su grupo hermano sea la familia Sminthuridae (molecular).

## 1.7 LITERATURA CITADA

- Bellinger, P.F., Christiansen, K.A. & Janssens, F. (1996–2020) Checklist of the Collembola of the World. Available from: <http://www.collembola.org>. (acceso Abril 2020).
- Betsch, J. M. 1980. Éléments pour une monographie des Collembolés Symphypléones (Hexapodes, Aptérygotes). Mémoires du Muséum d'histoire naturelle. Paris. Muséum national d'histoire naturelle. 227p.
- Bretfeld, G. 1986 Phylogenetic systematics of higher taxa of Symphypleona Börner, 1901 (Insecta, Entognatha, Collembola ). In: R. Dallai (ed.), 2nd International Seminar on Apterygota. Siena: University of Siena. 307-311 pp
- Bretfeld, G. 1999. Symphypleona. In: Synopses on Palaeartic Collembola, vol. 2. Dunger W. (Ed.), Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum, Görlitz. 1-318pp.
- Castaño-Meneses, G., J.G. Palacios-Vargas y L.Q. Cutzi-Pool. 2004. Feeding habits of Collembola and their ecological niche., *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 75 (1): 135-142.
- Deharveng, L. 2004. Recent advances in Collembola systematics. *Pedobiología* 48: 415–433.
- D'Haese, C.A. 2002. Were the first springtails semi-aquatic? A phylogenetic approach by means of 28S rDNA and optimization alignment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 269: 1143–1151.
- Greenslade, P. 2007. The potential of Collembola to act as indicators of landscape stress in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47: 424-434.
- Hopkin, S.P. 1997. Biology of the springtails (Insecta:Collembola). Oxford University Press, Oxford. 330p.
- Hopkin, S.P. 1998. Collembola: the most abundant insects on earth. *Antenna*, 22: 117-121.
- Palacios-Vargas, J.G. 2014. Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Suplemento* 85: 220–231.
- Palacios-Vargas, J.G. y B.E. Mejía-Recamier. 1990. Colémbolos de Jalisco, México, con descripción de nuevas *Friesea* (Collembola: Neanuridae) y clave para determinar especies. *Folia Entomológica Mexicana* 77: 19-31.
- Palacios-Vargas, J.G., Castaño-Meneses, G. & Mejía-Recamier, B.E. 2000. Collembola. In: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Vol. II. Llorente, J., González-Soriano, E. y Papavero, N. (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México. 249–273 pp.

- Richards, W.R. 1968. Generic classification, evolution and biogeography of the Sminthuridae of the world. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*. 53-54.
- Salmon, J.T. (1964) An index to the Collembola. *Royal Society of New Zealand Bulletin* 7: 1–651.
- Schneider, C., Cruaud, C. & D'Haese, C. A. 2011. Unexpected diversity in Neelipleona revealed by molecular phylogeny approach (Hexapoda, Collembola). *Soil Organisms* 83: 383–398.
- Schneider, C. & D'Haese, C. A. 2013. Morphological and molecular insights on Megalothorax: the largest Neelipleona genus revisited (Collembola). *Invertebrate Systematics* 27:317–364.
- Vázquez-González, M.M. & Palacios-Vargas, J.G. 2004. Catálogo de colémbolos (Hexápoda: Collembola) de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Universidad de Quintana Roo-CONABIO, México. 123p.
- Wallwork, J.A., B. Kamill & W.G. Whitford. 1985. Distribution and diversity patterns of soil mites and other microarthropods in a Chihuahuan Desert site. *Journal of Arid Environment* 9: 215–31.
- Whitford, W.G. 2000. Ecology of desert systems. London. Elsevier Science.473p
- Xiong, Y., Gao, Y., Yin, W. & Luan, Y. (2008) Molecular phylogeny of Collembola inferred from ribosomal RNA genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 49, 728–735.

## CAPÍTULO 2. SYNTHESIS OF MEXICAN SYMPHYPLEONA (HEXAPODA: COLLEMBOLA) UPDATED CHECKLIST WITH ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION

CÉSAR S. MAGAÑA-MARTÍNEZ<sup>1,\*</sup>, JOSÉ G. PALACIOS-VARGAS<sup>2</sup> & JOSÉ L. NAVARRETE-HEREDIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctorado BEMARENA, CUCBA, Universidad de Guadalajara, Km. 15.5 Carretera a Nogales, Las Agujas, Nextipac, 45110, Zapopan, Jalisco

<sup>2</sup>Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM, 04510, Ciudad de México

<sup>3</sup>Entomología, Centro de Estudios en Zoología, CUCBA, Universidad de Guadalajara, Km. 15.5 Carretera a Nogales, Las Agujas, Nextipac, 45110, Zapopan, Jalisco

\*Corresponding author. E-mail: [cesarparker@hotmail.com](mailto:cesarparker@hotmail.com)

### Abstract

A taxonomic list of recorded Symphypleona from Mexico is presented. Data also includes a nomenclatorial update, distribution per political entity and habitat preferences. It is indicated that 28 genera and 73 species are currently distributed in 23 of the 32 states of Mexico. Quintana Roo represents the most diverse state (27 species) followed by Jalisco and Hidalgo (20 spp.). Reviews consulted indicate that eleven endemic species have been recorded so far from Mexico. According to the literature, one-third of the collected specimens across Mexico from leaf litter have yielded Symphypleona. The three most diverse genera recorded are, *Sminthurides* with 9 species, *Sminthurinus* and *Sminthurus* with 7 species each.

**Key words:** Biodiversity, records, springtails, habitats.

Published in *Zootaxa* (2019) 4671 (1): 055–066, <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4671.1.4>  
<http://zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:509B7E99-2550-4F95-986E-36AD1D12DB4D>

## 2.1 Introduction

Springtails are the most abundant soil microarthropods in terms of the number of specimens per square meter (50,000+/m<sup>2</sup>) (Hopkin 1997). Around 8,600 species have been described world-wide (Bellinger *et al.* 1996–2018), of which approximately 600 are known from Mexico (Palacios-Vargas 2014).

Order Symphypleona (10 families, 1,219 described species), are minute to medium-sized Collembola (0.12–4 mm in length) in which the antennae are equal or longer than the head. The body of the Symphypleona consists of head; thorax and abdomen, this last part of the body depending on the family will present a fusion of segments, either I–V or only of I–IV, which results in a globular shape, which also has some modifications depending on the family (Bretfeld 1999). The small order Neelipleona also has a globular body but these minute springtails have antennae shorter than head, among many other distinctive characters.

Published records of Mexican Symphypleona are not as common as for orders Entomobryomorpha and Poduromorpha. Palacios-Vargas (1997) published information on Collembola then known from Mexico. The aforementioned author reported 59 records of Symphypleona in 20 states of Mexico, although 21 of those records were tentative placements (*cf.*) and one was determined only to genus level, thus yielding 37 taxa determined to species level. Palacios-Vargas *et al.* (2000) provided an updated list of 60 species from 21 states; however, 18 were tentative (*cf.*) and one was determined to genus level thus resulting in 41 species of Symphypleona.

The classification of Symphypleona has undergone many changes in the last two decades. Therefore, a thorough review of the bibliography and data bases was made in order to provide an updated checklist that can form the basis for future studies of Symphypleona in Mexico. In addition, distribution data and collection biotopes have been listed for each species.

## 2.2 Methods

A review of published information was made in order to gather all species records and citations from Mexico. This activity included a review of taxonomic works (Cutz-Pool *et al.* 2007; Cutz-Pool & Vázquez-González 2012; Cruz-Leal *et al.* 2013; Magaña-Martínez & Palacios-Vargas 2010; Palacios-Vargas 1990; 1997; 2000; 2014; Palacios-Vargas *et al.* 2000; 2012; Vázquez-González & Palacios-Vargas 1990; 2004), biogeographic (Palacios-Vargas *et al.* 2007) and ecological research (Cutz-Pool *et al.* 2008; García-Gómez *et al.* 2011; Mendoza-Arviso *et al.* 1999).

In order to update the bibliographic information, the database of the Collection of Collembola of Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, UNAM (LESM), was checked. Data on the global distribution of the species were obtained from Bellinger *et al.* (1996–2018), current nomenclature followed the biogeographical regions as in Christiansen & Bellinger (1995) (Nearctic, Neotropical, Palearctic, Antarctic and Cosmopolitan).

Only those taxa identified to species level are included in this compilation. Specimens placed close to or assigned tentatively to a species (designations such as *cf.*, *aff.*, *ca.*) were excluded. The nomenclature and systematic arrangement used in this paper is based on (Bellinger *et al.* 1996–2018). Abbreviations and names of federal entities follow the nomenclature of the Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2018).



## 2.3 Results and Discussion

The Symphypleona fauna recorded to date in Mexico comprises 28 genera and 73 species, with records for 26 states of México (Table 1). Sminthuridae is the most diverse family, with eight genera and 22 species, while Collophoridae has only one genus and one species. The most diverse genera are *Sminthurides* Börner, 1900 with nine species, *Sminthurinus* Börner, 1901 and *Sminthurus* Latreille, 1802, with seven (Table 2).

**TABLE 1.** Abbreviations of Mexican states, number of Symphypleona genera and species recorded of each state.

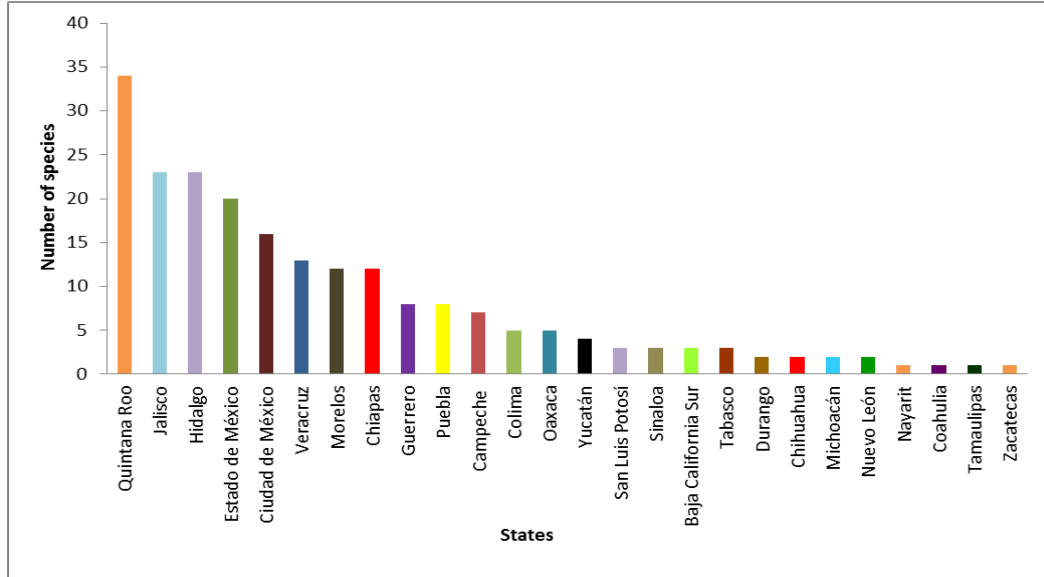
Abbreviation, State	N° Genera	N° Species	Abbreviation, State	N° Genera	N° Species
BCS, Baja California Sur	2	3	MOR, Morelos	6	12
CAMP, Campeche	6	7	NAY, Nayarit	1	1
CDMX, Ciudad de México	9	16	NL, Nuevo León	2	2
COL, Colima	5	5	OAX, Oaxaca	4	5
CHIS, Chiapas	6	12	PUE, Puebla	7	8
CHIH, Chihuahua	2	2	QROO, Quintana Roo	14	34
COAH, Coahuila	1	1	SIN, Sinaloa	2	3
DGO, Durango	2	2	SLP, San Luis Potosí	3	3
GRO, Guerrero	6	8	TAB, Tabasco	2	3
HGO, Hidalgo	10	23	TAMPS, Tamaulipas	1	1
JAL, Jalisco	15	23	VER, Veracruz	10	13
MEX, Estado de México	10	20	YUC, Yucatán	4	4
MICH, Michoacán	2	2	ZAC, Zacatecas	1	1

**TABLE 2.** Families, genera and species number of Symphypleona from México.

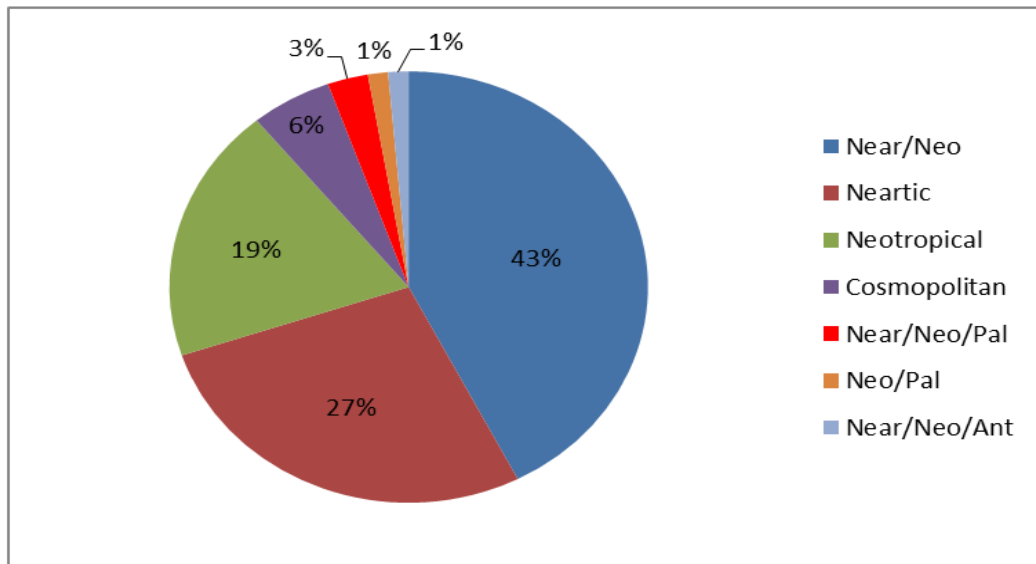
Family/genera	N° Species	Family/genera	N° Species	Family/genera	N° Species
<b>Arrhopalitidae</b>		<b>Dicyrtomidae</b>		<i>Sphyroteca</i>	2
<i>Arrhopalites</i>	3	<i>Calvatomina</i>	2	<i>Szeptyckitheca</i>	4
<i>Pygmarrhopalites</i>	2	<i>Dicyrtoma</i>	4	<i>Neosminthurus</i>	2
<b>Bourletiellidae</b>		<i>Dicyrtomina</i>	1	<i>Pararrhopalites</i>	4
<i>Adisianus</i>	2	<i>Ptenothrix</i>	5	<i>Temeritas</i>	1
<i>Arlesminthurus</i>	1	<b>Katiannidae</b>		<b>Sminthurididae</b>	
<i>Bourletiella</i>	1	<i>Polykatianna</i>	2	<i>Denisiella</i>	1
<i>Deuterosminthurus</i>	2	<i>Sminthurinus</i>	7	<i>Sminthurides</i>	9
<i>Pseudobourletiella</i>	1	<i>Stenognathellus</i>	1	<i>Sphaeridia</i>	3
<i>Prorastriones</i>	2	<b>Sminthuridae</b>		<b>Total</b>	<b>73</b>
<i>Stenognathriopes</i>	1	<i>Disparrhopalites</i>	1		
<b>Collophoridae</b>		<i>Sminthurus</i>	7		
<i>Collophora</i>	1	<i>Songhaica</i>	1		

The Quintana Roo state contains the largest number of records with 34 species, followed by Jalisco and Hidalgo (23 each) and Estado de Mexico (20). In contrast, four states are documented with a single species (Nayarit, Coahuila, Tamaulipas & Zacatecas) (Figure 1). Of the 73 recognized species for the country, eleven have been recorded only in Mexico. These records are documented in five states, including: Quintana Roo with five of these species, followed by Jalisco with two; Nayarit, Hidalgo, Colima, Puebla, Oaxaca, Yucatan and Guerrero each has a record (Table 3\*).

Of the 73 species of Symphypleona registered in Mexico, 31 (43%) have Nearctic / Neotropical affinities, being 20 (27%) only Nearctic, so it is not surprising when compared with the records of Christiansen & Bellinger (1998), where of the 140 species of Symphypleona that are documented in their work, there is a similarity of 49 species that exist in Mexico (35% similarity). On the other hand 14 species (19%) registered have distribution in the Neotropical region, when compared with those records published by Heckman (2001) for Symphypleona species for South America comprise 125 records, with only five species in common with Mexico. This shows us that until now the species of Symphypleona found in the territory of Mexico have stronger Nearctic than Neotropical affinities. On the other hand, the percentage of records with cosmopolitan distribution (4%) is low (Figure 2).



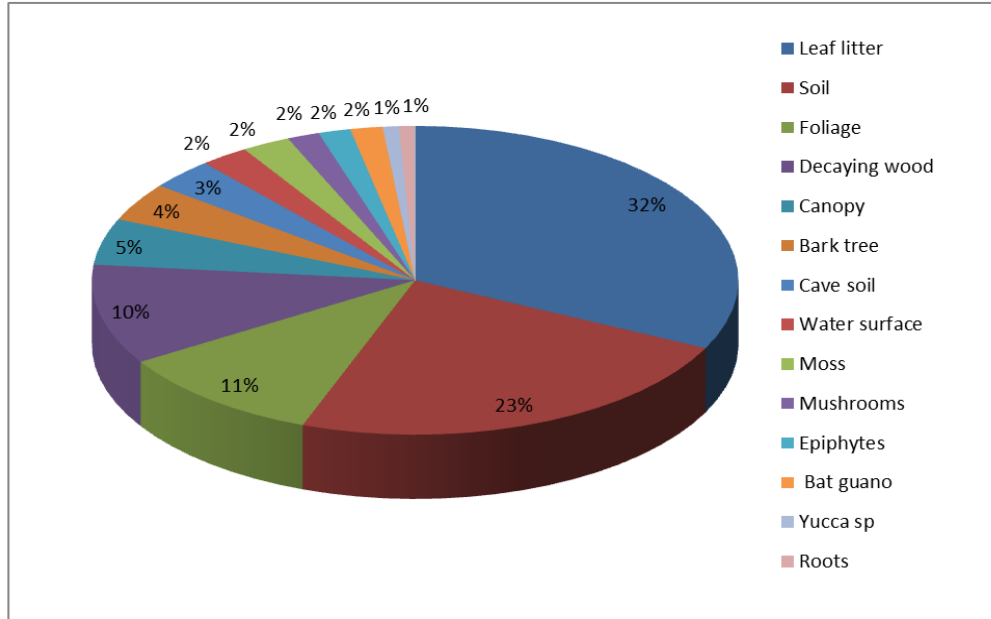
**FIGURE 1.** Number of Mexican Symphypleona Collembola with recorded for each state



**FIGURE 2.** Percentage of species by world region

Known Mexican Symphypleona have been collected in 14 different habitats, with leaf litter predominating in the highest percentage of records with 40 species collected, followed by soil collections with 29, foliage and decaying wood with 13 each (Figure 3). Calculation of percentages took into account that several Symphypleona species are found in more than one habitat, so numbers are different from the total number of registered species.

The high number of species recorded in Quintana Roo (34 spp.) can be partly explained because in this state collections derive from long-term projects plus collections have been carried out systematically, which increases the possibilities of covering several biotopes and seasons of the year (Cutz-Pool & Vázquez-González, 2012; Vázquez-González & Palacios-Vargas, 2004).



**FIGURE 3.** Distribution percentage of Symphypleona in the different collection habitats

The states of Hidalgo, State of Mexico and Mexico City, are located respectively in the third, fourth and fifth places in diversity of Symphypleona for the country, the similarity in records of its diversity is due to the proximity that exists between the three states, which has allowed the implementation of long-term projects that include several microenvironments suitable for the group (Cutz-Pool *et al.* 2008, García-Gómez *et al.* 2011, Palacios-Vargas 1985, Palacios-Vargas *et al.*, 2012).

Although knowledge of Mexico's Collembola biodiversity has progressed lately, the lack of exploration in many regions of the country still leaves large gaps in our knowledge, not only for Symphypleona, but also for the Collembola as a whole. More economic support and basic tools to increase taxonomic knowledge of the group are needed.

Several records were left out of the present list because they lacked species level identifications that were otherwise tentative or suspicious. With a deeper revision of these indeterminate specimens, a greater number of species could be incorporated, which would increase the records for the country.

### Acknowledgements

This work is part of the César S. Magaña Martínez Ph. D. thesis who has a CONACYT scholarship (#CVU: 631861) and is enrolled in the BEMARENA graduate program of the UDG. Recent material of Symphypleona comes from PAPIIT (UNAM) IN214816 project: "Ecología de Microartrópodos de la selva de Los Tuxtlas, Veracruz", under the charge of JGPV. Jesús Cruz Leal verified the databases of Collembola (project LE002 CONABIO) of the Faculty of Sciences, UNAM and verified the data. Ph. Candidate Diego Silva (postgraduate program at INPA, Brazil) reviewed the manuscript and made important suggestions. Special thanks to Dr. Wanda M. Weiner, associate editor of the journal and the two anonymous reviewers for their valuable comments that lead to improving the article. Dr. Hugo Mejía kindly reviewed the final English version of this contribution.

**TABLE 3.** Species of Symphypleona known in Mexico. Abbreviations used for states and regions are indicated in Methods section. Species known only from Mexico are indicated with an asterisk (\*).

Family/species	Distribution in Mexico	Source	World distribution	Habitat
<b>Sminthuridae</b>				
* <i>Denisiella nayarita</i> Palacios-Vargas & Bernava, 1999	NAY	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Soil
<i>Sminthurides aquaticus</i> (Bourlet, 1842)	CDMX,HGO,QROO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Foliage, water surface
<i>S. globocerus</i> Folsom & Mills, 1938	JAL,HGO	Palacios-Vargas (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Soil
<i>S. hyogramme</i> Pedigo, 1966	MICH	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic, Neotropical	Foliage
<i>S. macnamarai</i> Folsom & Mills, 1938	JAL	Magaña-Martínez & Palacios-Vargas (2010)	Nearctic, Neotropical	Foliage
<i>S. malmgreni</i> (Tullberg, 1876)	CDMX,HGO,CHIH,PUE	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Water surface
<i>S. occultus</i> Mills, 1934	CDMX,HGO,MEX	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Leaf litter, soil, decaying wood
<i>S. penicillifer bifidus</i> Mills, 1934	CDMX,JAL,MOR	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Foliage, water surface
<i>S. plicatus</i> (Schött, 1891)	MEX,HGO,QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, soil, decaying wood
<i>S. terrestris</i> Maynard, 1951	BCS,SIN,MOR, JAL,CAMP, QROO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)		Soil
<i>Sphaeridia brevipila</i> (Murphy, 1960)	HGO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Paleotropical, Neotropical	Foliage
<i>S. pumilis</i> (Krausbauer, 1898)	CDMX,MEX, HGO,MOR,PUE, COL,VER,SIN, QROO,CAMP, YUC,JAL	Cutz-Pool <i>et al.</i> (2008); Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); García-Gómez <i>et al.</i> (2011); Magaña-Martínez & Palacios-Vargas (2010) Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Cosmopolitan	Leaf litter, decaying wood, foliage, canopy, moss, bark tree, mushrooms
<i>S. serrata</i> Folsom & Mills, 1938	CDMX,HGO,JAL,ZAC,SIN,OAX, QROO, CAMP	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, soil, decaying wood

.....continued on the next page

TABLE 3. (Continued)

Family/species	Distribution in Mexico	Source	World distribution	Habitat
<b>Katiannidae</b>				
<i>Polykatianna intermedia</i> (Snider, 1978)	CHIS	Mendoza-Arviso <i>et al.</i> (1999)	Nearctic, Neotropical	Soil
<i>P. radícula</i> (Maynard, 1951)	VER,JAL	Specimens in LESM	Nearctic	Canopy
<i>Sminthurinus atrapallidus</i> Snider, 1978	HGO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Soil
<i>S. conchyliatus</i> Snider, 1978	MEX,HGO,MOR,CHIS,CHIH,OA X,SLP,VER	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Foliage, bark tree, decay- ing wood
<i>S. elegans</i> (Fitch, 1863)	CDMX,MEX,CHIS	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Cosmopolitan	Leaf litter, soil
<i>S. handschini</i> Folsom, 1934	MEX	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic	Bark tree
* <i>S. imperialis</i> Palacios-Vargas, Hornung-Leoni & Garrido, 2012	HGO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2012)	Neotropical	Leaf litter, epiphytes
<i>S. latimaculosus</i> Maynard, 1951	CDMX,MOR, CHIS,QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, foliage, canopy
<i>S. quadrimaculatus</i> (Ryder, 1878)	MEX,HGO, MOR,VER, JAL, BCS,CHIS,TAB, PUE, UC,CAMP	Cutz-Pool <i>et al.</i> (2008); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas (2000); Vázquez-González & Palacios-Vargas (1990)	Nearctic, Neotropical, Antarctica	Leaf litter, soil, decaying wood, foliage, bark tree, epiphytes
<i>Stenognathellus denisi</i> Cassagnau, 1953	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, soil
<b>Arrhopalitidae</b>				
<i>Arrhopalites caecus</i> (Tullberg, 1871)	CDMX, MEX, QROO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); specimens in LESM	Cosmopolitan	Decaying wood, <i>Yucca</i> sp
<i>A. diversus</i> Mills, 1934	CDMX, MEX, PUE, HGO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Decaying wood
* <i>A. vazquezae</i> Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995	JAL, COL, OAX	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Soil, bat guano, cave soil
<i>Pygmarrhopalites benitus</i> (Folsom, 1896)	MOR	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical, Paleotropical	Soil

.....continued on the next page

TABLE 3. (Continued)

Family/species	Distribution in Mexico	Source	World distribution	Habitat
<i>P. pygmaeus</i> (Wankel, 1860)	GRO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Soil
<b>Collophoridae</b>				
<i>Collophora quadrioculata</i> (Denis, 1933)	VER, JAL, QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Soil, leaf litter
<b>Sminthuridae</b>				
* <i>Disparrhopalites enkerlinius</i> (Palacios-Vargas, Cuéllar & Vázquez, 1998)	QROO	Palacios-Vargas (1997); Vázquez-González & Palacios-Vargas (2004)	Neotropical	Leaf litter
<i>Sminthurus butcheri</i> Snider, 1969	CDMX,HGO, MOR,PUE,VER,MEX,JAL,GRO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> , (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Leaf litter, decaying wood, foliage, moss, soil
<i>S. fitchi</i> Folsom, 1896	MEX	Specimens in LESM	Nearctic	Leaf litter
<i>S. incisus</i> Snider, 1978	JAL	Specimens in LESM	Nearctic	Leaf litter, soil
<i>S. mendenbergae</i> Snider, 1983	JAL,HGO,SLP, MICH	Cruz-Leal <i>et al.</i> (2013); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, decaying wood
<i>S. packardi</i> Folsom, 1896	MEX	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Foliage
<i>S. viridis</i> (Linnæus, 1758)	JAL,CDMX	Magaña-Martínez & Palacios-Vargas (2010); specimens in LESM	Nearctic, Neotropical, Paleotropical	Soil
<i>S. schoetti</i> Salmon, 1964	BCS	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Leaf litter
* <i>Songhaica adoracionae</i> Palacios-Vargas, Cuéllar & Vázquez, 1998	QROO	Vázquez-González & Palacios-Vargas (2004)	Neotropical	Leaf litter
<i>Sphyroteca confusa</i> Snider, 1978	HGO,VER,MEX, CDMX,JAL	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Magaña-Martínez & Palacios-Vargas (2010)	Nearctic, Neotropical	Foliage, leaf litter
<i>S. minnesotensis</i> (Guthrie, 1903)	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic	Leaf litter
* <i>S. karlarum</i> (Palacios-Vargas, Vázquez & Cuéllar, 2003)	QROO	Vázquez-González & Palacios-Vargas (2004)	Nearctic	Leaf litter
* <i>S. peteri</i> Palacios-Vargas, Vázquez & Cuéllar, 2003	QROO	Vázquez-González & Palacios-Vargas (2004)	Nearctic	Leaf litter
<i>Szeptykitheca mucroserrata</i> (Snider, 1978).	JAL,CHIS,VER, PUE,HGO,QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Soil, leaf litter, canopy, bark tree
<i>S. vanderdrifti</i> (Delamare Deboutteville & Massoud, 1964)	QROO	Vázquez-González & Palacios-Vargas (2004)	Neotropical	Leaf litter

.....continued on the next page

TABLE 3. (Continued)

Family/species	Distribution in Mexico	Source	World distribution	Habitat
<i>Neosminthurus bakeri</i> Snider, 1978	HGO,CDMX,VER,PUE,MEX,GR O, MOR,JAL,COAH,CHIS,SLP,O AX, QROO	Cutz-Pool <i>et al.</i> (2007); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, soil, decaying wood, moss
<i>N. clavatus</i> (Banks,1897)	CDMX,MEX,HGO,MOR,P UE,VER, JAL,CHIS,GRO, OAX,NL,QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Magaña-Martínez & Palacios-Vargas (2010) Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, decaying wood, soil
<i>Pararrhopalites anops</i> Bonet & Tellez, 1947	NL	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic	Soil, cave soil
* <i>P. christianseni</i> (Palacios-Vargas & Zepelini, 1995)	YUC,QROO, CAMP	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Specimens in LESM	Neotropical	Bat guano, roots
* <i>P. hennigi</i> (Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995)	GRO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Soil, leaf litter
<i>P. oculatus</i> Bonet & Tellez, 1947	GRO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Bark tree, cave soil
<i>Temeritas macroceros</i> (Denis, 1933)	JAL	Palacios-Vargas (2000). Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Foliage, leaf litter
<b>Bourletiellidae</b>				
<i>Adisianus maassius</i> (Palacios-Vargas & González, 1995)	JAL	Palacios-Vargas (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Leaf litter
<i>A. tristani</i> Denis, 1933	CHIS	Specimens in LESM	Neotropical	Soil, canopy
<i>Arlesminthurus salinensis</i> (Arlé,1971)	CHIS	Specimens in LESM	Neotropical	Soil
<i>Bourletiella arvalis</i> (Fitch, 1863)	MEX	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Cosmopolitan	Soil
<i>Deuterostminthurus luridus</i> (Snider, 1978)	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
* <i>D. nonfasciatus</i> (Snider, 1978)	JAL, DGO	Specimens in LESM	Nearctic	Leaf litter, cave soil
<i>Pseudobourletiella spinata</i> (MacGillivray, 1893)	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic, Neotropical	Soil
<i>Prorastriopes validentatus</i> (Snider, 1978)	CDMX, MEX	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Soil
<i>P.wexfordensis</i> (Snider, 1969)	YUC	Specimens in LESM	Nearctic	Leaf litter
* <i>Stenognathriopes (Tenentiella) siankaana</i> Palacios-Vargas & Vázquez, 1997	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Neotropical	Leaf litter

.....continued on the next page



**TABLE 3. (Continued)**

Family/species	Distribution in Mexico	Source	World distribution	Habitat
<b>Dicyrtomidae</b>				
<i>Calvatomina opalina</i> Snider, 1990	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>C. rufescens</i> (Reuter, 1890)	JAL, CAMP,QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>Dicyrtoma aurata</i> (Mills, 1934)	TAMPS, QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>D. fusca</i> (Lubbock, 1873)	HGO, COL,QROO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); LESM	Nearctic	Decaying wood, leaf litter, soil
<i>D. hageni</i> (Folsom, 1896)	HGO, MOR, VER, QROO, GRO	Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>D. mithra</i> Wray, 1949	QROO,HGO, MOR	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>Dicyrtomina minuta</i> (Fabricius, 1783)	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic, Neotropical, Paleotropical	Leaf litter, soil
<i>Ptenothrix atra</i> (Linnæus, 1758)	VER, COL, MEX, CHIS, TAB, QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>P. delongi</i> (Christiansen & Bellinger, 1981)	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic, Neotropical	Leaf litter
<i>P. marmorata</i> (Packard, 1873)	MEX,HGO,VER, COL,CDMX,JAL,GRO,DGO,CAMP, CHIS,TAB, QROO	Cutz-Pool <i>et al.</i> (2008); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2000); Specimens in LESM	Nearctic, Neotropical	Leaf litter, mushrooms
<i>P. quadrangularis</i> (Mills, 1934)	HGO, QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012); Palacios-Vargas <i>et al.</i> (2007)	Nearctic	Soil
<i>P. palmata</i> (Folsom, 1902)	QROO	Cutz-Pool & Vázquez-González (2012)	Nearctic	Leaf litter

## 2.4 Literature cited

- Arlé, R. (1971) Collemboles d' Amazonie. III. Quelques Symphypléones du Bas-Amazone et complément à la description de *Deuterosminthurus aueti*. *Boletim do Museu. Paraense Emilio Goeldi Zool*, 75, 1–11.
- Banks, N. (1897) Description of two new Sminthurids. *Journal of the New York Entomological Society*, 5, 33–34.
- Bellinger, P.F., Christiansen, K.A. & Janssens, F. (1996–2018) Checklist of the Collembola of the World. Available from: <http://www.collembola.org>. (accessed 10 april 2018).
- Bonet, F. & Téllez, C. (1947) Un nuevo género de Esmintúridos (Collembola). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 8, 193–203.
- Bourllet, C. (1842) Mémoire sur les Podurides et les Sminthurides. *Annales de la Société Entomologique de France*, 10,40–41.
- Börner C. (1900) Vorläufige Mitteilung zur Systematik der Sminthuridae Tullb., insbesondere des Genus *Sminthurus* Latr. *Zoologischer Anzeiger*, 23, 609–618.
- Börner, C. (1901) Zur Kenntnis der Apterygoten-Fauna von Bremen und Nachbardistrikte. *Abhandlungen herausgegeben vom Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen*, 17 (1), 1–140.
- Bretfeld, G. (1999) Symphypleona. In: Dunger W. (Ed.), *Synopses on Palaearctic Collembola*, vol. 2. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum, Görlitz, pp. 1–318.
- Cassagnau, P. (1953) Faune française des Collemboles. IV. Un nouveau genre de Sminthuridae: *Stenognathellus* n. g. *Bulletin de la Société zoologique de France*, 78, 226–228.
- Christiansen & Bellinger (1981) The Collembola of North America north of the Río Grande, a taxonomic analysis. Grinnell College, Iowa, 1322 pp.
- Christiansen, K. & Bellinger, P. (1995) The biogeography of Collembola. *Bulletin Entomologique de Pologne*, 64, 279–294.
- Christiansen, K. & Bellinger, P. (1998) *The Collembola of North America North of the Rio Grande*. Grinnell Collage, Grinnell, Iowa, 1520 pp.
- Cutz-Pool, L.Q. & Vázquez-González, M.M. (2012) Colémbolos (Hexapoda: Collembola): pequeños artrópodos abundantes y diversos en Quintana Roo, México. *Dugesiana*, 19 (2), 105–111.

- Cutz-Pool, L.Q., García-Gómez, A. & Palacios-Vargas, J.G. (2007) Primer estudio de colémbolos (Hexapoda: Collembola) de La Hoya de las Guaguas, en el estado de San Luis Potosí, México. *Dugesiana*, 14 (2), 47–51.
- Cutz-Pool, L.Q., Palacios-Vargas, J.G. & Castaño-Meneses, G. (2008) Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: collembola) en musgos corticícolas en el gradiente altitudinal de un bosque subhúmedo de México. *Revista de Biología Tropical*, 56 (2), 739–748.
- Cruz-Leal, J.I., Escalante-Jiménez, A.L., Salgado Ortiz, J. & Palacios-Vargas, J.G. (2013) Collembola (Hexapoda) del Área Natural Protegida “Cerro Punhuato” en Morelia, Michoacán. *Entomología Mexicana*, 11(1), 364–369.
- Delamare Deboutteville, C. & Massoud, Z (1964) Collemboles Symphypléones de l’Angola (Première Note) *Publicações Culturais. Companhia de Diamantes de Angola*, 69, 65–104.
- Denis, J. R. (1933) Contributo alla conoscenza del “Microganton” di Costa Rica, III. Collemboles de Costa Rica avec une contribution au species de l’ordre (deuxième note). *Bollettino del Laboratorio di zoologia generale e agraria della R. Scuola superiore d’agricoltura. Portici*, 27, 222–322.
- Fabricius, O. (1783) Beskrivelse over nogle lidet bekiendte Podurer, og en besonderlig Loppe. *Nye Sampling af det Kongelige Danske Videnskabers Selskabs Skrifter*, 2 (2), 296–311.
- Fitch, A. (1863) Eighth report on the noxious and other insects of the State of New York. *Transactions of the New-York State Agricultural Society*, 22, 657–691.
- Folsom, J.W. (1896) New Smynthuri, including myrmecophilous and aquatic species. *Psyche*, 7, 446–450.
- Folsom, J.W. (1902) Papers from the Harriman Alaska Expedition: XXVII, Apterygota. *Proceedings of the Washington Academy of Sciences*, 4, 87–116.
- Folsom, J.W. (1934) Redescriptions of North American Sminthuridae. Iowa State College *Journal of Science*, 8, 461–511.
- Folsom, J.W. & H. B. Mills (1938) Contribution to the knowledge of the genus *Sminthurides* Börner. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*. 82, 231–274.
- Guthrie, J.E. (1903) *The Collembola of Minnesota*. Geological & Natural History Survey Zoological series no 4, Minnesota, 110 pp.

- García-Gómez, A., Castaño-Meneses, G. & Palacios- Vargas, J.G. (2011) Diversity of springtails (Hexapoda) in an altitudinal gradient Iztaccíhuatl Volcano, Mexico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 911–916.
- Heckman, C.W. (2001) *Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Collembola*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 418pp.
- Hopkin, S.P. (1997) *Biology of the springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, New York, 330 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018). Available from: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/catalogo\\_entidades.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/catalogo_entidades.aspx) (accessed:10.04.2018).
- Krausbauer, T. (1898) Neue Collembola aus der Umgebung von Weilburg a. /Lahn. *Zoologischer Anzeiger* 21, 495–499, 501–504.
- Latreille, P.A. (1802-1803) *Histoire naturelle, générale et particulière des crustacés et des insectes: ouvrage faisant suite aux oeuvres of Leclerc de Buffon, and partie du cours complet d'histoire naturelle rédigé par C. S. Sonnini*, Paris, 3, 467pp.
- Linnaeus, C. (1758) *Systema Naturae*. 10<sup>th</sup> edn., Vol 1. Holmiae, 824pp.
- Lubbock, J. (1873) *Monograph of the Collembola and Thysanura*. The Ray Society. London, 276 pp.
- MacGillivray, A.D. (1893) North American Thysanura. I. *The Canadian Entomologist*. 25, 127–128.
- Magaña-Martínez, C. & Palacios-Vargas, J.G. (2010) Colémbolos (Hexapoda) del Nevado de Colima, Jalisco, México. *Dugesiana*, 17 (1), 73–80.
- Maynard, E. A. (1951) *A monograph of the Collembola or springtail insects of New York State*. Ithaca. N.Y. 399 pp.
- Mills, H. B. (1934) *A monograph of the Collembola of Iowa*. Iowa Collegiate Press, Ames, Iowa, 143pp.
- Mendoza-Arviso, S., Villalobos, F.J., Ruíz-Montoya, L. & Castro, A.E. (1999) Patrones Ecológicos de los colémbolos en el cultivo de Maíz en Balun Canal, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana, nueva serie*, 78, 83–101.
- Murphy, D.H. (1960) Some records and redescriptions of British Collembola. Part II. Symphypleona, with a description of *Bourletiella craggi* n.sp. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London*, 29, 57–64.
- Packard, A.S. (1873) Synopsis of the Thysanura of Essex County, Mass, with Descriptions of a few Extralimital Forms. *Annual Report of the Peabody Academie of Science*, 5, 23–51.

- Palacios-Vargas, J.G. (1990) Nuevos Collembola de estado de Chihuahua, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 79, 5–32.
- Palacios-Vargas, J.G. (1997) *Catálogo de los Collembola de México*. Las Prensas de Ciencias, UNAM. México, 102 pp.
- Palacios-Vargas, J.G. (2000) Los Collembola (Hexápoda: Entognata) de Jalisco, México. *Dugesiana*, 7 (1), 23–36.
- Palacios-Vargas, J.G. (2014) Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Suplemento*, 85, 220–231.
- Palacios Vargas, J.G & Bernava, V. (1999) A new Mexican species of *Denisiella* (Collembola: Sminthuridae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 72, 447–450.
- Palacios-Vargas, J.G. & Gonzalez, V. (1995) Two new species of *Deuterostminthurus* (Bourletiellidae), epiphytic Collembola from the Neotropical region with a key for the American species. *Florida Entomologist*, 78, 286–294.
- Palacios-Vargas, J.G. & Vázquez, M. M. (1997). A New Subgenus of Bourletiellidae (Collembola) from Quintana Roo, Mexico. *Florida Entomologist*, 80 (2), 285–288.
- Palacios-Vargas, J.G. & Zeppelini, D.F. (1995) Seven new *Arrhopalites* (Hexapoda: Collembola) from Brazilian and Mexican caves. *Folia Entomológica Mexicana*, 93, 7–23.
- Palacios-Vargas, J.G., Cuéllar, J.L. & Vázquez, M.M. (1998) Two new Mexican sminthurids (Collembola: Symphypleona) from humid tropical forests. *Folia Entomológica Mexicana*, 104, 13–21.
- Palacios-Vargas, J.G., Castaño-Meneses, G. & Mejía-Recamier, B.E. (2000) Collembola. In: Llorente, J., González-Soriano, E. y Papavero, N. (Eds.). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Vol. II*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, pp. 249–273.
- Palacios-Vargas, J. G., M. M. Vázquez & J. L. Cuéllar. (2003). Dos Nuevos esmintúridos mexicanos (Collembola: Symphypleona) de una selva baja inundable. *Folia Entomológica Mexicana*, 42: (3), 297–308.
- Palacios-Vargas, J.G., Cutz-Pool, L.Q. & Estrada-Bárceñas, D.A. (2007) Collembola. En: Luna, I., Morrone, J.J. y Espinosa, D. (Eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 331–344.
- Palacios-Vargas, J. G., Hornung-Leoni, C.T. & Garrido, I. (2012) Collembola in epiphytic bromeliads (*Tillandsia imperialis*: Bromeliaceae) from Hidalgo, Mexico and description of a new *Sminthurinus* (Collembola: Katiannidae). *Brenesia*. 78, 58–64.

- Pedigo, L.P. (1966) A new sminthurid from northwestern Indiana with a redescription of *Sminthurus trilineatus* Banks (Collembola: Sminthuridae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 39, 90–98.
- Reuter, O. M. (1890) Collembola in caldariis viventia enameravit novasque species descripsit. *Meddelanden af Societatis pro Fauna et Flora Fennica*, 17, 17–28.
- Ryder, J. A. (1878) Description of a new species of *Sminthurus*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 30, 335–336.
- Salmon, J.T. (1964) An index to the Collembola. *Royal Society of New Zealand Bulletin*, 7, 1–651.
- Snider, R.J. (1969) New species of *Deuterostminthurus* and *Sminthurus* from Michigan (Collembola; Sminthuridae). *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 6, 357–376.
- Snider, R.J. (1978) New species of Sminthuridae from North America (Collembola: Symphypleona). *Great Lakes Entomologist*, 11(4), 217–241.
- Snider, R.J. (1983) *Sminthurus mendenbergae*, new species from Canada and Michigan (Collembola: Sminthuridae). *Great Lakes Entomologist*, 16(4), 115–122.
- Snider, R.J. (1990) A contribution to the Dicyrtomidae (Collembola) of Hawaii. *Zoologica Scripta*, 19(1), 73–99.
- Schött, H. (1891) Beiträge zur Kenntnis Kalifornischer Collembola. *Bihang till Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar*, 17(IV, 8), 1–25.
- Tullberg, T. (1871) Förteckning öfver svenska Podurider. *Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*, 28(1), 143–155.
- Tullberg, T. (1876) Collembola borealia. *Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*. 33(5), 23–42.
- Vázquez-González, M. M. & Palacios-Vargas, J.G. (1990) Nuevos registros y aspectos biogeográficos de los colémbolos de la Sierra de la Laguna B.C.S., México. *Folia Entomológica Mexicana*. 78, 5–22.
- Vázquez-González, M.M. & Palacios-Vargas, J.G. (2004) *Catálogo de colémbolos (Hexápoda: Collembola) de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. Universidad de Quintana Roo-CONABIO, México, 123pp.
- Wankel, H. (1860) Beiträge zur Fauna der mährischen Höhlen. *Lotos, Prague*, 10, 201–206.
- Wray, D.L. (1949) Some new *Dicyrtoma* and key to known species of the United States. *The Bulletin of the Brooklyn Entomological Society*, 44, 61–68.

# **CAPÍTULO 3. RELACIONES FILOGENÉTICAS DE LA FAMILIA DICYRTOMIDAE (COLLEMBOLA: SYMPHYPLEONA) INFERIDAS POR SECUENCIAS DE ADN.**

## **RESUMEN**

La familia Dicyrtomidae, dentro de los colémbolos, es de las que posee una amplia distribución mundial con más de 200 especies descritas y con representantes en todos los continentes. Diversos autores colocan a la familia Dicyrtomidae como grupo monofilético, pero no han establecido claramente las relaciones filogenéticas que tiene con otras familia de Symphypleona. Por ello en este estudio se pone a prueba la monofilia de la familia Dicyrtomidae. Se utilizan fragmentos de los genes I, 18S y 28S considerando algunas especies de los generos más comunes de Dicyrtomidae, así como de especies de las familias Arrhopalitidae, Katiannidae y Sminthuridae, las cuales según la filogenia morfológica, son las familias más cercanas. Se realiza un análisis bayesiano mediante Mr. Bayes. A partir del análisis con secuencias de ADN no es posible observar divergencia genética marcada entre las secuencias de las especies, como para dar correctas evidencias de la cercanía que guarda Dycirtomidae con las otras familias de Symphypleona. La presencia de politomías en los clados no permite dar conclusiones acertadas sobre la filogenia, aunque es la primera vez que se busca realizar este tipo de análisis, se demuestra que es necesario un análisis más profundo en donde se incorpore un número mayor de especies de estas familias, además de utilizar otros genes con una tasa de evolución más rápida o realizar secuenciación masiva de adn.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Los colémbolos son de los microartrópodos más abundantes del suelo en cuanto al número de ejemplares que se pueden encontrar por metro cuadrado (50,000+ind/m<sup>2</sup>) (Hopkin 1997). En el mundo se contabilizan hasta hoy poco más de 8000 especies descritas (Bellinger *et al.* 1996-2020), de las que cerca de 700 están registradas de México (Cutz-Pool, 2008) y constituyen un importante componente de la mesofauna en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Palacios-Vargas 1985). Los colémbolos habitan en sitios con mucha o poca humedad distribuyéndose geográficamente en casi cualquier parte del mundo, llegando a vivir en zonas que superan la cota de los 7,000 m (Hopkin 1997), lo que los hace presentes en todos los continentes, incluso en la Antártica (Palacios-Vargas *et al.* 2000).

Se distinguen cuatro órdenes de colémbolos: los de cuerpo alargado como Poduromorpha con antenas cortas y el protórax bien desarrollado y Entomobryomorpha que a diferencia de Poduromorpha presenta el protórax reducido y los de cuerpo globoso como lo son Neelipleona de tamaño pequeño y con los segmentos abdominales V y VI no diferenciados y con las antenas muy cortas. El último orden Symphypleona (grupo del cual forma parte la familia de estudio) son colémbolos de cuerpo globular, las antenas son iguales o más largas que la cabeza, con la fúrcula y el tenáculo bien desarrollados y en general el cuerpo está dividido en tres tagmas: cabeza claramente separada (primer tagma), los segmentos torácicos II y III y los segmentos abdominales I - VI o I - V fusionados formando el gran abdomen (segundo tagma) y el abdomen V – VI o solamente el VI claramente diferenciados del resto del abdomen formando un abdomen pequeño (tercer tagma) ( Bretfeld 1999).

El cuerpo de los miembros de Dicyrtomidae posee una forma tipo ovoide, en algunos géneros se presenta una protuberancia más de tipo de joroba en la parte posterior del gran abdomen, las divisiones de los segmentos torácicos no son visibles. Presentan cuatro pares de tricobotrias (ABCD) en el gran abdomen y un par más de largas y finas tricobotrias situadas lateralmente en la zona del segmento anal (Stach 1957). En el ápice de la cabeza las sedas están modificadas en macrosedas más parecidas a espinas, también teniendo estas sedas modificadas en la frente cefálica y cípeo (Bretfeld 1999). Un carácter que hace fácil determinar miembros de esta familia se encuentra en el segmento antenal IV, que es más corto que la mitad de la longitud del tercero, además se aprecia la antena acodada entre el segmento antenal II y III. La familia Dicyrtomidae tiene distribución mundial, dentro de orden Symphypleona es la tercera en diversidad (207 spp), en México se tienen registros



de cuatro de los ocho géneros conocidos en el mundo (Calvatomina, Dicyrtoma, Dicyrtomina y Ptenothrix) (Bellinger et al. 1996–2020).

Según la propuesta de Richards (1968) la antigua subfamilia Dicyrtominae (hoy familia) estaba emparentada con Katianninae y Sminthurinae, mismas que ahora agrupa con base en la forma de los apéndices anales de las hembras y la forma tubular alargada de los sacos del colóforo. Bretfeld (1986), retomando la clasificación de Börner (1901) colocó a Dicyrtomidae como grupo hermano de Katianniformia por un lado, además de Sminthurida y Bourletiellida por el otro.

Sistemáticamente la familia Dicyrtomidae se divide en dos subfamilias (Bellinger et al. 1996-2020): Dicyrtominae (con 98 spp.) y Ptenothricinae (109 spp.).

Ptenothricinae Richards, 1968 *sensu* Bretfeld, 1999: con tricobotria D, ungues sin túnica, III y IV artejos antenales usualmente subdivididos, por lo general dos sedas faciales.

Dicyrtominae Richards, 1968 *sensu* Bretfeld, 1999: con la tricobotria D presente sólo en juveniles primarios y ausente en juveniles secundarios y adultos. Ungues algunas veces con túnica, cuarto artejo antenal levemente anillado.

A pesar de que se han realizado trabajos sobre la taxonomía y sistemática de los Symphypleona, éstos sólo han sido llevados a cabo con base en características morfológicas (Richards 1968; Betsch 1980; Bretfeld 1986, 1999); sin embargo, sigue siendo controversial las relaciones filogenéticas que guarda cada familia a un nivel más allá del morfológico.

El uso de la filogenia molecular ha cambiado profundamente nuestra percepción de la posición taxonómica de gran número de taxones. Métodos filogenéticos y taxonómicos tradicionales basados en el examen y la comparación de caracteres morfológicos han sido complementados o reemplazados por métodos filogenéticos moleculares que utilizan marcadores moleculares (mitocondriales, nucleares y regiones genómicas) (Bruvo-Madaric, 2009).

De acuerdo con las propuestas de autores como: Börner, (1901), Richards (1968), Betsch (1980) y Bretfeld (1986, 1999) colocan a la familia Dicyrtomidae como grupo monofilético. Sin embargo, las relaciones mencionadas se basan sólo en caracteres morfológicos y quedan aún interrogantes sobre las relaciones que guarda Dicyrtomidae con alguna de las familias mencionadas. ¿Pero qué nos dicen estudios realizados en que se utilizan caracteres

moleculares?, D' Haese (2002) realiza un análisis filogenético con base en la amplificación de las regiones D1 y D2 del gen 28s rDNA, aunque el objetivo principal de dicho estudio fue probar la hipótesis acerca del origen semi-acuático de los colémbolos comparando con los terrestres, el autor utiliza géneros de las familias para su trabajo molecular: Dicyrtomidae (*Dicyrtoma*, *Ptenothrix*), Arrhopalitidae (*Arrhopalites*), Katiannidae (*Sminthurinus*) y Sminthuridae (*Sminthurus*). Los resultados que obtuvo muestran a los taxa de Dicyrtomidae cercanos a los taxa de Sminthuridae, pero ambos formando grupos parafiléticos, aunque fueron satisfactorios para los objetivos que abordaron, es necesario tomar en cuenta más caracteres y taxones para llegar a una definición más exacta de las relaciones que guardan los géneros en Dicyrtomidae y su relación con alguna de estas familias. . La utilización de secuencias de ADN puede clarificar la posición taxonómica confusa de algunas especies y tratar de sustentar mejor las relaciones. Es importante la realización de este tipo de trabajos sobre la taxonomía y filogenia de un orden en particular, porque con ello se logra enriquecer el conocimiento sobre la diversidad del grupo. Es por esto que el objetivo principal del presente trabajo es encontrar con base en secuencias de ADN de los géneros más representativos de la familia Dicyrtomidae, cuales son las relaciones con las familias: Arrhopalitidae, Katiannidae y Sminthuridae, y compararlas con las postuladas por otros autores.

### **3.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

Especímenes: Para una mayor probabilidad de obtener material genético de buena calidad se realizaron colectas en localidades con previos registros de especies de Symphypleona, con el objetivo de obtener material fresco y asegurar que desde la colecta, los ejemplares sean conservados de adecuada manera. Se revisó literatura en la que se encontraran registros de géneros o especies de la familia Dicyrtomidae o de algún otro miembro de las familias de interés que fueran a resultar útiles para los análisis (Palacios-Vargas 1990; 1997; 2000; 2014; Palacios-Vargas *et al.* 2000; 2007). También se hizo revisión de la base de datos de la Colección de Collembola del Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, UNAM (LESM). Con esta revisión se obtuvieron las localidades de colecta de las especies de interés y se procedió a realizar las visitas para buscar el material. En laboratorio se procesaron muestras de suelo, hojarasca y corteza, se separaron los ejemplares de Symphypleona que se observaron y se colocaron en viales con alcohol al 96°, posteriormente las muestras fueron conservadas en cámaras de refrigeración a una temperatura de -20° para evitar la degeneración del material genético.

Extracción y amplificación de ADN: Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ciencias de la UNAM y en Laboratorio Nacional de Identificación y Caracterización Vegetal de la UDG (LaniVeg). Se realizó la extracción de material genético ADN mediante la utilización de un protocolo de extracción no destructivo (Casquet *et al.* 2012) y realizando modificaciones para lograr la correcta extracción, dado que el material biológico con el cual se trabaja es diferente al llevado a cabo por los autores. La calidad de la extracción se evaluó utilizando un espectrofotómetro (NanoDrop® ND-1000) que permite medir las concentraciones de la muestra de ADN, y las razones de absorbancia de 280/260 y 260/230, posteriormente fue almacenado a una temperatura de -20° para evitar su degradación.

Para la reacción de PCR, la amplificación se realizó para dos genes, el gen 18S rDNA (18S) y el gen 28S rDNA(28S), se utilizaron primers diseñados para el grupo los datos de los mismos (Tabla 1).

Tabla 3.1. Primers utilizados en la amplificación y secuenciación.

Primer	Secuencia	Gen	Diseñado para	Referencia
<b>18sF</b>	5'-TGAAACTTAAAGGAATTGACG-3'			Dabert <i>et al.</i> 2010
<b>18sR</b>	5'TGATCCTTCCGCAGGTTACCT-3'	18s	Arachnida	
<b>C1</b>	5'-ACCCGCTGAATTTAAGCAT-3'			D' Haese 2002
<b>D2</b>	5'-TCCGTGTTTCAAGACGGG-3'	28s	Collembola	

Para el gen 18S y 28S incluyeron 40 individuos correspondientes a 20 especies (cuadro 2), para complementar secuencias de especies que en no fueron posibles coleccionar u obtener una secuencia de buena calidad, fueron obtenidas secuencias de los genes de estudio de la página del banco mundial de genes (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), y también obtener secuencias de individuos de otras especie de Symphypleona y de miembros de los otros ordenes de Collembola, esto para utilizarlos como grupos externos.

El éxito de la amplificación por PCR se evaluó en geles de agarosa al 1%, que se corrieron utilizando un voltaje de 100 voltios por 60 minutos, utilizando TAE (1X) como solución amortiguadora.

**Secuenciación:** Se realizó la purificación del producto de PCR por siguiendo el protocolo con columnas y con el reactivo EXOSAP-TT, así mismo la reacción de secuenciación fue por medio del reactivo BIG-DYE con un volumen final de 20µl. La secuenciación se llevó a cabo en el analizador de fragmentos Ion Torrent 7467, esta metodología llevada a cabo en LaniVeg del CUCBA UDG.

**Edición y análisis de datos:** Las secuencias obtenidas fueron revisadas y ensambladas con el programa Sequencher, versión 4.1.4 (Gene Code) con refinamiento manual. El alineamiento se realizó manualmente con el programa PhyDE® (Phylogenetic Data Editor) (Müller *et al.*, 2005-2020).

**Cuadro 3.1 Información de especies utilizadas en este estudio. Grupos externos (\*). Especie colectada en México \*\***

Clasificación	Especies	Número de GenBank	
		18S rDNA	28S rDNA
<b>Protura</b>			
Acerentomata			
Acerentomidae	<i>Acerella muscorum</i> *		AF483354.1
	<i>Baculentulus tianmushanensis</i> *	KF776501.1	
<b>Collembola</b>			
<b>Poduromorpha</b>			
	<i>Anuridella calcarata</i>		HQ731911.1
	<i>Anurida maritima</i>		HQ731910.1
Neanuridae	<i>A. granaria</i>		HQ731909.1
	<i>Friesea grisea</i>		AF483425.1
	<i>F. mirabilis</i>		AF483426.1
	<i>Micranurida pygmaea</i>		KY230821.1
	<i>Neanura muscorum</i>		HQ731960.1
	<i>N. latior</i>		AY037172.1
Brachystomellidae	<i>Brachystomella parvula</i>		KY230822.1
Poduridae			AF416875.1
	<i>Podura aquatica</i>	EU368604.1	
	<i>Ceratophysella gibbosa</i>		HQ731992.1
	<i>Hypogastrura</i> sp.	AY338691.1	
Hypogastruridae	<i>H. vernalis</i>		HQ731949.1
	<i>Microgastrura sensiliata</i>		HQ731958.1
	<i>Paraxenylla affiniformis</i>		HQ731962.1

**Cuadro 3.1 Continuación. Grupos externos (\*). Especie colectada en México \*\***

Clasificación	Especies	Número de GenBank	
		18S rDNA	28S rDNA
Hypogastruridae	<i>Schoettella ununguiculata</i>		HQ731967.1
	<i>Triacanthella</i> sp.	AY859610.1	
	<i>T.perfecta</i>		HQ731972.1
	<i>Willemia denisi</i>		KY230855.1
	<i>Xenylla grisea</i>	AY555517.1	AF483467.1
	<i>X. tullbergi</i>		HQ731980.1
	<i>Homaloproctus sauteri</i>		AF483428.1
	<i>Kalaphorura paradoxa</i>		HQ731955.1
	<i>Micraphorura absoloni</i>		KY230868.1
	<i>Onychiurus ambulans</i>	AY555518.1	HQ731961.1
Onychiuridae	<i>O. yodai</i>	AY037171.1	
	<i>Protaphorura armata</i>		KY230989.1
	<i>P. fimata</i>	KY382771.1	
	<i>Tetrodontophora bielanensis</i>	KY382772.1	HQ731970.1
	<i>Lophognathella choreutes</i>		AF483432.1
Tullbergiidae	<i>Mesaphorura macrocheta</i>		AF483433.1
	<i>Metaphorura denisi</i>		HQ731956.1
	<i>Tillieria penai</i>		AF483463.1
Odontellidae	<i>Superodontella alpina</i>		HQ731968.1
	<i>S. gisini</i>		HQ731969.1
Odontellidae	<i>Xenyllodes armatus</i>		AF483469.1
<b>Nelipleona</b>			
Nelidae	<i>Neelides minutus</i>	DQ016567.1	
<b>Entomobryomorpha</b>			
Oncopoduridae	<i>Oncopodura crassicornis</i>		DQ016581.1
Tomoceridae	<i>Tomocerus minor</i>	AY555516.1	HQ731971.1
	<i>Cryptopygus antarcticus</i>		AF483421.1
	<i>C. sverdrupi</i>	KX351370.1	
	<i>Desoria trispinata</i>	KY230773.1	
	<i>Folsomia candida</i>	XM_022098844.2	KF592006.1
Isotomidae	<i>F. onychiurina</i>	JN981073.1	JN981028.1
	<i>Isotoma anglicana</i>	KY230779.1	
	<i>Isotoma viridis</i>		KY230875.1
	<i>Isotomurus palustris</i>	KX351375.1	
Orchesellidae	<i>Parisotoma notabilis</i>		KJ792224.1
	<i>Orchesella villosa</i>	KY230729.1	KY230904.1
	<i>Entomobrya lanuginosa</i>		AF483423.1
Entomobryidae	<i>Entomobryidae</i> sp.	KY554640.1	
	<i>Heterosminthurus</i> sp.	KY382767.1	
	<i>Heteromurus tenuicornis</i>	DQ016564.1	
	<i>Pseudosinella</i> sp.		AF483451.1
	<i>Sinella curviseta</i>	KC236258.1	KC236340.1
	<i>Willowsia nigromaculata</i>	KC236263.1	

**Cuadro 3.1 Continuación. Especie colectada en México \*\***

Clasificación Symphypleona	Especies	Número de GenBank	
		18S rDNA	28S rDNA
	<i>Allacma</i> sp.		AF483413.1
	<i>A. fusca</i>	KY230702.1	AF483355
	<i>Caprainea marginata</i>		AF483419.1
	<i>Lipothrix</i> sp.		LK024363.1
Sminthuridae	<i>Neosminthurus clavatus_12_1**</i>		Este trabajo
	<i>N. clavatus_5_8**</i>	Este trabajo	
	<i>Papirinus prodigiosus</i>	DQ016569.1	
	<i>Sminthurus_6_4**</i>		Este trabajo
	<i>Sminthurus_6_2**</i>	Este trabajo	
	<i>Sminthurus_8_12**</i>	Este trabajo	
	<i>Sminthurus_9_1**</i>	Este trabajo	
	<i>Sminthurinus_6_5**</i>	Este trabajo	
	<i>Sminthurinus_12_5**</i>		Este trabajo
	<i>Sminthurinus bimaculatus</i>		AF483398
Katiannidae	<i>S. conchylatus_12_6**</i>		Este trabajo
	<i>S. granulatus</i>		HQ592776.1
	<i>Katiannidae</i> sp.	KY554632.1	
Arrhopalitidae	<i>Arrhopalites caecus_3_5**</i>	Este trabajo	Este trabajo
	<i>Arrhopalites sericus</i>		AF483417.1
	<i>Sminthurides_7_3**</i>		Este trabajo
Sminthurididae	<i>Sminthurides aquaticus</i>	AY596364.1	
	<i>Sminthurus viridis</i>	KY230701.1	
	<i>Sphaeridia pumilis</i>	Este trabajo	
Bourletiellidae	<i>Bourletiella hortensis</i>	KY230700.1	KY230898.1
	<i>Pseudobourletiella spinata</i>	DQ016568.1	
	<i>Ptenothrix sp1_1_4**</i>	Este trabajo	
	<i>P. atra_7_4**</i>	Este trabajo	
	<i>P. marmorata_5_3**</i>	Este trabajo	
	<i>P. renatae_4_5R**</i>	Este trabajo	
	<i>P.sp2_10_3**</i>		Este trabajo
	<i>P. marmorata_11_3**</i>		Nueva
	<i>P. renatae_9_1**</i>		Nueva
	<i>P. monochroma</i>		FJ411425.1
Dicyrtomidae	<i>Calvatomina opalina_6_14R**</i>	Este trabajo	
	<i>C. opalina_1_1**</i>		Este trabajo
	<i>Dicyrtoma sp1_8_5**</i>	Este trabajo	
	<i>Dicyrtoma atra</i>		LK024417.1
	<i>D. fusca</i>		LK024301.1
	<i>Dicyrtomina minuta</i>		LK024303.1
	<i>D. minuta_5_2R**</i>	Este trabajo	
	<i>D. minuta_5_5**</i>	Este trabajo	
	<i>D. minuta_5_7F**</i>	Este trabajo	
	<i>D. minuta_11_1**</i>		Este trabajo
	<i>D. saundersi</i>	EU368611.1	

Obtención de árboles filogenéticos:

Para comparar las relaciones filogenéticas entre los géneros de Dicyrtomidae y otras familias de Symphypleona, se realizó un análisis filogenético con secuencias generadas en el presente estudio y con secuencias obtenidas de Genbank para los mismos genes de estudios previos. En primer lugar se implementó el programa JModelTest v2.1.7 (Darriba *et al.* 2012) en el cual se buscó el mejor modelo de evolución para ambos marcadores genéticos, 18s (GTR+I+G) y 28s (TVMef+I+G) con el criterio de información de Akaike (AIC). La reconstrucción filogenética fue realizada con inferencia bayesiana mediante el servidor de CIPRES (Miller *et al.*, 2010) utilizando el programa MrBayes v.3.2.7 (Pagel y Meade 2006). El análisis bayesiano comenzó con la estructuración al azar de un árbol y simultáneamente se estructuraron 3 cadenas de Markov. Estos análisis de cadenas de Markov (MCMC) fueron realizadas para 10.000.000 de generaciones, con muestras de árboles filogenéticos cada 5000 generaciones. El primer millón de muestras de árboles filogenéticos fueron descartadas, estas muestras fueron consideradas como la base de prueba (burn-in) y los cuatro millones de árboles restantes fueron utilizados para construir el árbol definitivo o árbol consenso con probabilidad a posterior. Finalmente los arboles obtenidos fueron visualizados y editados con el programa FigTree v1.4.2 (Rambaut 2006-2012). Los análisis Bayesianos se realizaron en MrBayes v.3.2.6. (Huelsenbeck & Ronquist 2001) implementado en CIPRES (Miller *et al.* 2010).

### 3.3 RESULTADOS

En este análisis se integran las especies de Symphypleona colectadas en México (cuadro 2) a las que fue posible amplificar y secuenciar fragmentos de ADN de los genes 18S y 28S, además de secuencias obtenidas de Genbank de más especies de Symphypleona y de los otros tres órdenes de Collembola, que fueron utilizados como grupos externos; además se enraizó utilizando un Protura en ambos casos. Del nuevo material secuenciado, se obtuvieron un total de 645 pb para el gen 18S y 425 pb para el gen 28S.

Los resultados de los análisis filogenéticos con los dos genes separados arrojaron dos hipótesis filogenéticas contrastantes. El árbol del consenso de mayoría del 50% para el gen 18S (Figura 1) muestra una filogenia muy poco resuelta, destacando el clado A (PP 1.0) en donde se aprecia con una politomía para la mayoría de los miembros de Symphypleona, que incluye a especies de la familia Sminthuridae (*Neosminthurus clavatus*, *Sminthurus*

sp1, sp2 y sp3) y de la familia Dicyrtomidae (*Calvatomina opalina*, *Dicyrtomina minuta*, *D. saundersi*, *Dicyrtoma* sp. *Ptenothrix atra*, *P. marmorata*, *P. renatae* y *Ptenothrix* sp.). El clado B (PP 0.94) agrupó especies de las familias Katiannidae (*Papirinus prodigiosus* y *Katiannidae* sp), Sminthuridae (*Allacma fusca* y *Sminthurus viridis*) y entre ellos un de Bourletiellidae (*Pseudobourletiella spinata*, *Bourletiella hortensis*, *Deuterosminthurus sulphureus* y *Heterosminthurus* sp). Finalmente, el clado C (PP 0.99) muestra una agrupación con miembros de las familias Sminthuridae (*Sminthurides schoetti*, *S. acuaticus* y *Sphaeridia pumilis*), Katiannidae (*Sminthurinus bimaculatus*) y Arrhopalitidae (*Arrhopalites caecus*). En lo que refiere a los grupos externos, los resultados obtenidos muestran también inconsistencias con algunas agrupaciones sin resolver, ejemplo de ello se observa en miembros de Isotomidae, en el que se formó un peine con las especies: *Cryptopygus antarcticus*, *Desoria trispinata*, *Folsomina onychiurina*, *Isotomurus palustris* y *Folsomia candida*, además de que se inserta una rama con la especie de Nelidae (*Neelides minutus*). En el clado de Entomobryidae, las especies agrupadas parecen tener mejor resolución, teniendo en sus ramas a: *Entomobryidae* sp, *Heteromurus tenuicornis*, *Heterosminthurus* sp, *Sinella curviseta* y *Willowsia nigromaculata*, pero con *Isotoma anglicana* fuera del lugar de los Isotómidos. Se completa el clado con *Orchesella villosa* (Orchesellidae).

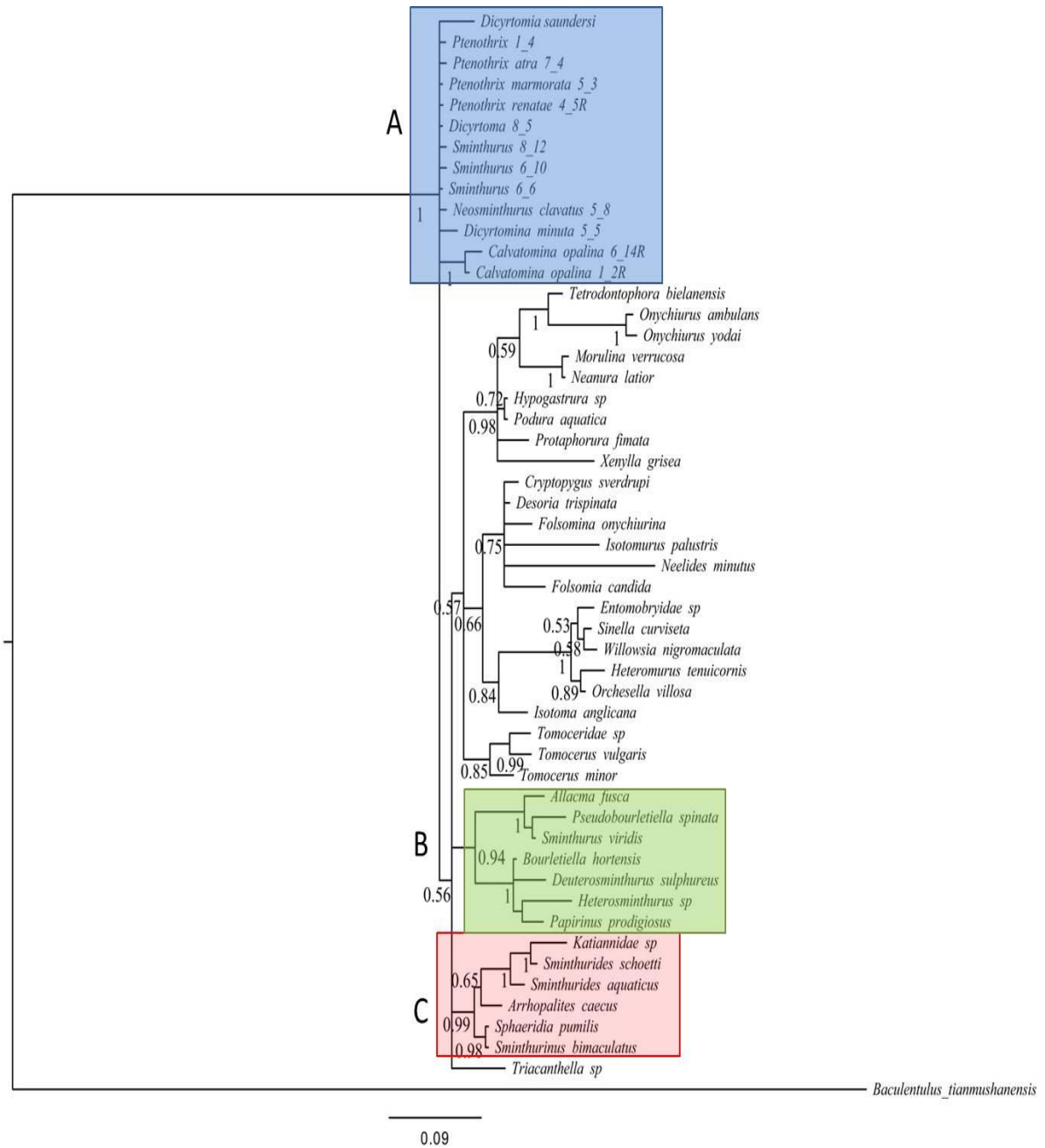
Para el árbol de consenso de mayoría del 50% correspondiente al gen 28S (Figura 2) se aprecian muchas diferencias con respecto al de 18S, se formaron cuatro clados con especies de Symphypleona.

El clado A (PP 0.96) agrupa dos especies de Sminthuridae (*Allacma fusca* y *Allacma* sp.), el clado B (PP 0.7) lo forman *Sminthurides* sp (Sminthuridae) y *Sminthurus viridis* (Sminthuridae) que son de familias distintas. El clado C (PP 1.0) con mejor resolución de todos conformado solo por especies de la familia Katiannidae (*Sminthurinus bimaculatus*, *S. aureus*, *S. granulatus*, *S. tuberculatus* y *Sminthurinus* sp.), Finalmente, en el clado D (PP 0.71) presenta una politomía entre cinco diferentes familias: Katiannidae (*Sminthurinus conchyliatus* y *Sminthurinus* sp.), Arrhopalitidae (*Arrhopalites caecus* y *A. sericus*), Sminthuridae (*Neosminthurus clavatus* y *Lipothrix lubbocki*), Bourletiellidae (*Bourletiella hortensis*) y de la familia Dicyrtomidae (*Calvatomina opalina*, *Dicyrtoma atra*, *D. fusca*, *Dicyrtomina minuta*, *Ptenothrix marmorata*, *P. renatae* y *Ptenothrix* sp.), con esto no se logra definir un verdadero clado. Al igual como el árbol del gen 18S, las especies de algunos de los otros órdenes de Collembola que se utilizaron como grupos externos se agruparon en su mayoría de mejor manera que en Symphypleona. Un ejemplo hacia arriba del clado A es el



caso de Neanuridae, en donde todos los géneros de la familia quedan agrupados en la parte alta del árbol de (*Anuridella calcarata*, *Anurida maritima*, *A. granaria*, *Friesea grisea*, *F. mirabilis*, *Micranurida pygmaea*, *Neanura muscorum*, *N. latior* y *Thaumanura carolii*), aunque *Podura acuática* se agrupa en este clado siendo de la familia Poduridae. Siguiendo con los Poduromorpha, pero hacia abajo del clado D, se forma un grupo con los miembros de Onychiuroidea (*Homaloproctus sauteri*, *Kalaphorura paradoxa*, *Micratorura absoloni*, *Onychiurus ambulans*, *O. yodai* y *Protaphorura armata*). De Tullbergiidae también se forma un grupo bien definido con *Mesaphorura macrocheta*, *Metaphorura denisi* y *Tillieria penai*, quedando solo *Lophognathella choreutes* fuera del grupo de esa familia. Para Hypogastruridae también todos los géneros quedan bien agrupados al final del árbol con el grupo formado por: *Ceratophysella gibbosa*, *Hypogastrura vernalis*, *Microgastrura sensiliata*, *Paraxenylla affiniformis*, *Schoettella ununguiculata*, *T. perfecta*, *Willemia denisi*, *Xenylla grisea* y *X. tullbergi*.

Al lado del clado A se agruparon los Entomobryomorpha, en el primero se encuentra el grupo bien resuelto de los Isotómidos con: *Cryptopygus antarcticus*, *Folsomia candida*, *F. onychiurina*, *Isotoma anglicana* y *Parisotoma notabilis*. Por último, el clado que tiene a las familias Entomobryidae (*Entomobrya lanuginosa*, *Pseudosinella* sp y *Sinella curviseta*). De la familia Orchesellidae (*Orchesella villosa* y *O. cincta*) y por último de Tomoceridae (*Tomocerus minor*).



**Figura. 3.1** Topología del árbol de consenso del gen 18s a partir de un análisis por Inferencia Bayesiana. Los números sobre cada rama representan el valor de probabilidad posterior (valores cercanos a 1 representan el 100% de certidumbre en la hipótesis planteada).

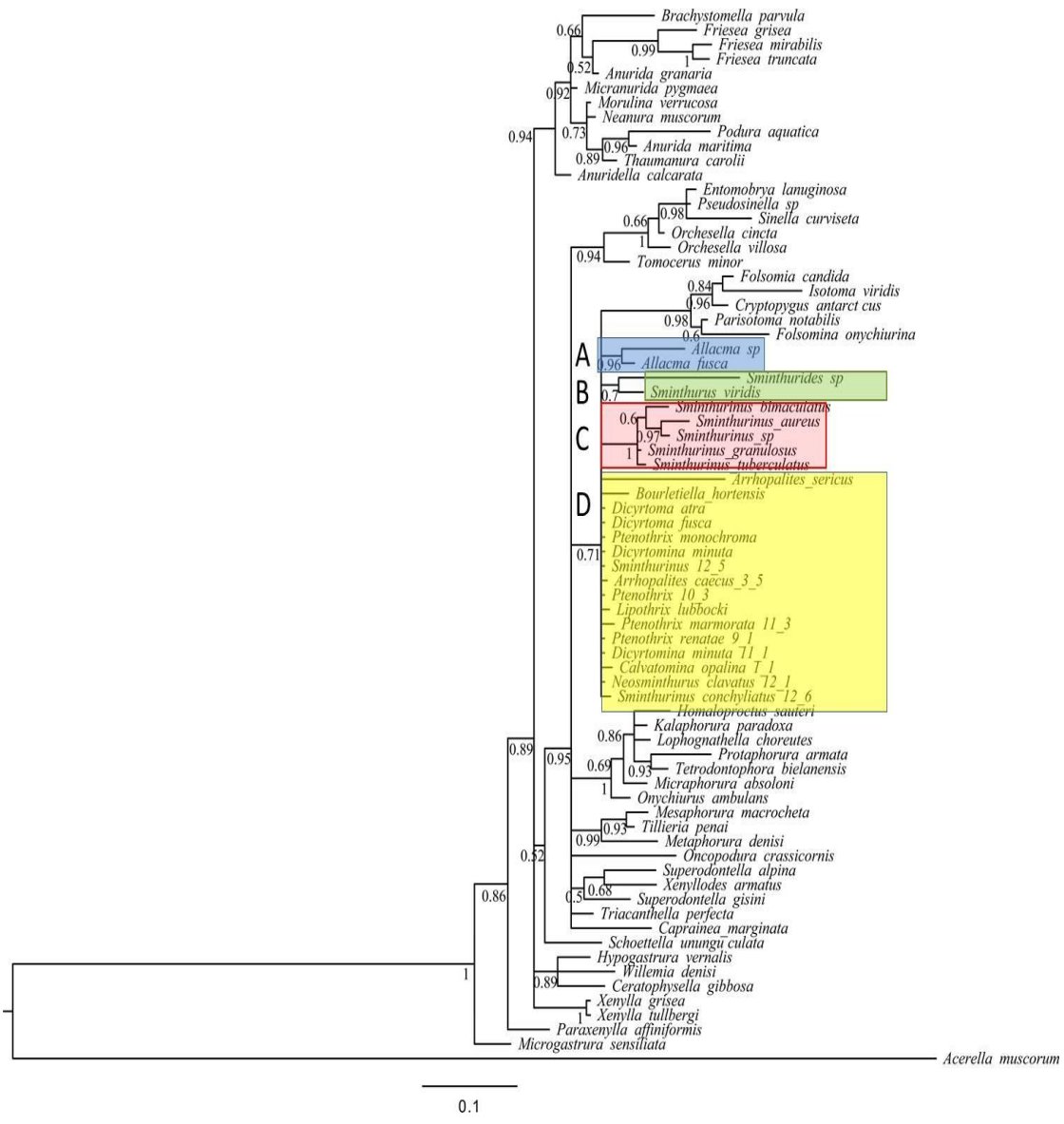


Figura. 3.2 Topología del árbol de consenso del gen 28s obtenido por Inferencia Bayesiana con 10 millones de generaciones cada una. Los números sobre cada rama representan el valor de probabilidad posterior (valores cercanos a 1 representan el 100% de certidumbre en la hipótesis planteada).

### 3.4 DISCUSIÓN

El orden Symphypleona se conforma de diez familias con distribución mundial. Para este estudio fueron utilizadas secuencias de especies de siete de las diez familias reconocidas en Symphypleona. Se secuenciaron especies colectadas en México y se obtuvieron secuencias de Genbank para tratar de obtener representantes de todas las especies posibles de Symphypleona secuenciadas hasta la fecha. Al comparar los dos

árboles resultantes vemos diferencias en el agrupamiento de los taxones, como ejemplo, la topología para el gen 18S (Fig. 1), coloca a todos los Dicyrtomidae en una politomía y hermano resto de las familias de Symphypleona. En el caso de la topología para el gen 28S (Fig. 2), también el clado de Dicyrtomidae resultó en una politomía, pero esta incluye a los miembros de Bourletiellidae y Sminthuridae dentro del mismo clado (Fig. 2),

Los resultados de esta primera investigación utilizando secuencias de ADN de los genes 18S y 28S con una cantidad mayor de ejemplares de Symphypleona resulta que es un grupo monofilético. Al comparar con estudios previos que utilizan los mismos genes tenemos resultados diferentes a los que obtuvo D'Haese (2002) en relación a la hipótesis que apoya como un grupo parafilético, pero en ese estudio se utilizaron sólo ocho géneros de cinco familias: *Sminthurides* (Sminthurididae), *Allacma*, *Sminthurus caprainea* (Sminthuridae), *Dicyrtoma* y *Ptenotrix* (Dicyrtomidae), *Arrhopalites* (Arrhopalitidae) y *Sminthurinus* (Katiannidae) aunque sus resultados lo colocan como grupo hermano de Neelipleona. En contraste, nuestros resultados con el único miembro del orden *Neelides minutus*, se agrupó en el clado de los Isotómidos. En nuestras filogenias realizadas con Inferencia Bayesiana las relaciones más cercanas de Dicyrtomidae dentro de Symphypleona fueron con los Bourletiellidae y Sminthuridae, a diferencia de D'Haese (2002), donde el grupo hermano de Dicyrtomidae resultó ser Katiannidae. Por lo que nuestros resultados apoyan una nueva relación para Dicyrtomidae. Al comparar los resultados para los mismos genes como lo utilizados por de Gao *et al.* (2008), la monofilia que resulta en nuestro trabajo concuerda con las filogenias moleculares previas que incluían representantes de Symphypleona en las que los autores confirman la monofilia del Orden utilizando solo cinco géneros de tres familias: *Sphaeridia* y *Sminthurides* (Sminthurididae), *Sminthurus* y *Papirinus* (Sminthuridae) y *Pseudobourletiella* (Bourletiellidae). Aquí las relaciones de cercanía con Dicyrtomidae no se pueden comparar debido a que no se usaron miembros de esta familia en su estudio, pero también coloca al taxa de Bourletiellidae como cercano de Sminthuridae, muy similar a nuestros resultados en este aspecto.

Este es un primer acercamiento a encontrar las relaciones filogenéticas utilizando representantes de todas las familias del orden. A la fecha no hay un solo estudio filogenético enfocado en la familia Dicyrtomidae. Al comparar los estudios filogenéticos moleculares utilizando los mismos genes, encontramos que D'Haese (2001) utilizó poco representantes de Sminthurididae, Sminthuridae, Dicyrtomidae y Katiannidae, obteniendo buenos soportes y sin politomías. Sin embargo, al incrementar el muestro presentado aquí, cambian las relaciones filogenéticas y se recuperan algunas politomías. Finalmente, este es el primer

acercamiento en entender las relaciones de Symphypleona, aumentando el número de especies y familias incluidas.

### **3.5 CONCLUSIONES**

Hasta ahora, no se había intentado estudiar la filogenia de Symphypleona basada en datos moleculares y que incluyan a una gran cantidad de representantes de todas las familias del orden. En este primer intento utilizando fragmentos de los genes rDNA 18S y 28S de especies pertenecientes a siete de las 10 familias que forman a Symphypleona, colocando hasta ahora el mayor número de especies del orden en un estudio de este tipo. Este estudio confirmó la monofilia de Symphypleona, coincidiendo con la taxonomía tradicional que han propuesto autores como Bretfeld (1986) y Deharveng (2004). Otra parte de los resultados apoya a Dicyrtomidae como el grupo hermano de Sminthuridae y Bourletiellidae, que va de acuerdo a las propuestas de Betsch (1980) y Richards (1984). Sin embargo, se necesitarán más investigaciones basadas en más especies y más datos moleculares para encontrar las relaciones filogénicas entre ellas, especialmente para señalar la posición que guarda cada familia del grupo, tanto internamente como con otros grupos de Collembola.

La disparidad que presentan los análisis con los genes utilizados en el trabajo actual, tal vez sea debido a las pocas diferencias que se encontraron en las regiones usadas en estas secuencias entre los diferentes grupos o posiblemente a presiones selectivas sobre el gen en cada grupo. Se recomienda incluir más especies que representen las familias no incluidas y especies de otros órdenes. Además, es necesario incluir un mayor número de genes y que éstos muestren un mayor polimorfismo. Los genes en este trabajo no fueron suficientes para resolver las relaciones filogenéticas entre las familias analizadas de Symphypleona. También se puede hacer una secuenciación de fragmentos de mayor tamaño y de ser posible sería interesante analizar la filogenia relacionando los patrones de distribución geográfica. Por ahora estos primeros resultados son un buen aporte inicial en el conocimiento de un grupo tan diverso, interesante y numeroso que es la familia Dicyrtomidae y el orden Symphypleona.

### **3.6 LITERATURA CITADA**

- Bellinger, P.F., Christiansen, K.A. & Janssens, F. (1996–2020) Checklist of the Collembola of the World. Available from: <http://www.collembola.org>. (accessed 10 april 2020).
- Betsch, J. M. 1980. Éléments pour une monographie des Collemboles Symphypléones (Hexapodes, Aptérygotes). Mémoires du Muséum d'histoire naturelle. Paris. Muséum national d'histoire naturelle. 227p
- Börner, C. 1901. Vorläufige Mittheilung über einige neue Aphorurinen und zur Systematik der Collembolen. Zoologischer Anzeiger. *Biodiversity Heritage*. 24-15.
- Bretfeld, G. (1986). - Phylogenetic systematics of higher taxa of Symphypleona Borner, 1901 (Insecta, Entognatha, Collembola): In: 2nd International Seminar on Apterygota. R. Dallai (ed.). Siena: University of Siena. 307-311pp
- Bretfeld, G. 1999. Symphypleona. In: Synopses on Palaeartic Collembola, vol. 2. Dunger W. (Ed.), Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum, Görlitz.1-318pp.
- Bruvo-Madaric, B. 2009. Molecular phylogenetic methods in entomology- new insights on the evolutionary relationships of hexapods and arthropods. *Entomologia Croatica* 13 (2): 69-84.
- Casquet J, Thebaud C, Gillespie RG. 2012. Chelex without boiling, a rapid and easy technique to obtain stable amplifiable DNA from small amounts of ethanol-stored spiders. *Molecular Ecology Resources* 12:136–141.
- Cutz-Pool, L. Q. 2008. Distribución altitudinal de la comunidad de colémbolos en musgos corticícolas de la parte noreste del Iztaccíhuatl. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias UNAM. D.F.115.
- Dabert. M., W. Witalinski., A. Kazmierski., Z. Olszanowski., & J. Dabert. 2010. Molecular phylogeny of acariform mites (Acari, Arachnida): Strong conflict between phylogenetic signal and long-branch attraction artifacts. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 56(1): 222–241.
- Darriba D, Taboada GL, Doallo R & Posada D. 2012. jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods* 9: 772–772.

- D' Haese, C. A. 2002. Were the first springtails semiaquatic? A phylogenetic approach by mean of 28S rDNA and Optimization Alignment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 69: 1143–1151.
- D' Haese, C. A. 2003. Morphological appraisal of Collembola phylogeny with special emphasis on Poduromorpha and a test of the aquatic origin hypothesis. *Zoologica Scripta* 32: 563–586.
- Hopkin, S.P. 1997. Biology of the springtails (Insecta:Collembola). Oxford University Press, Oxford. 330pp.
- Hopkin, S.P. 1998. Collembola: the most abundant insects on earth. *Antenna*, 22: 117-121.
- Müller, K., D. Quandt, J. Müller y C. Neinhuis C. PhyDE-Phylogenetic data editor. <http://www.phyde.de/>. Denmark.
- Miller, M.A., Pfeiffer, W. & Schwartz, T., 2010. Creating the CIPRES Science Gateway for inference of large phylogenetic trees. In 2010 gateway computing environments workshop (GCE). pp. 1–8.
- Pagel M., A. Meade. 2006. Bayesian analysis of correlated evolution of discrete history. *The American Naturalist*. 167 (6): 808-825.
- Palacios-Vargas, J.G. 1985. Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos). Tesis Doctoral. UNAM. D.F. 132pp.
- Palacios-Vargas, J.G. 1990. Nuevos Collembola de estado de Chihuahua, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 79, 5–32.
- Palacios-Vargas, J.G. 1997. Catálogo de los Collembola de México. Las Prensas de Ciencias, UNAM. México, 102 pp.
- Palacios-Vargas, J.G. 2000. Los Collembola (Hexápoda: Entognata) de Jalisco, México. *Dugesiana*, 7 (1): 23–36.
- Palacios-Vargas, J.G. 2014. Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Suplemento*, 85: 220–231.
- Palacios-Vargas, J.G., G. Castaño-Meneses y B.E. Mejía-Recamier. 2000. Collembola. En: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis

- de su conocimiento. Vol.II. Llorente, J., E. González-Soriano y N. Papavero (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México,D.F. 249-273 pp.
- Palacios-Vargas, J.G., L.Q. Cutz-Pool & D.A. Estrada-Bárcenas. 2007. Collembola. *En: Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Luna, I., Morrone, J.J. y Espinosa, D. (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, 331–344 pp.
- Rambaut, A. 2006-2012. FigTree, version 1.4.3. <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>
- Richards, W.N. 1968. Generic classification, evolution and biogeography of the Sminthuridae of the world (Collembola). Canada. *Memoirs of the entomological society of Canada*. 54pp.
- Huelsenbeck, J. P. y F. Ronquist. (2001). MRBAYES:Bayesian inference of phylogeny. *Bioinformatics* 17: 754-755.
- Stach, J. 1957. The Apterygotan fauna of Poland in relation to the world-fauna of this group of Insects, Families: Neelidae and Dicyrtomidae. Kraków. *Panstwowe Wydawnictwo Naukowe*. 113pp.
- Sequencher® version 4.1.4 DNA sequence analysis software, Gene Codes Corporation, Ann Arbor, MI USA. <http://www.genecodes.com>.



## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES**

### **4.1 Symphypleona en México**

A pesar de que el territorio nacional no ha sido inventariado en forma sistemática, la riqueza específica de los colémbolos Symphypleona debe tomarse como considerable, sobre todo al hacer comparaciones de la colembofauna que se tiene en otros países tropicales. Citando algunos ejemplos, al realizar una comparación de número de especies de Symphypleona como Costa Rica con registros de 12 especies (Palacios Vargas, 1992) Brasil, quien cuenta con 45 especies (Abrantes *et al.*, 2010) y considerando que es 4 veces mayor en superficie debería ser lo contrario. Finalmente si se engloban los registros totales para Sudamérica (125) (Heckman, 2001) se ve claramente el gran aporte de México en el conocimiento de la diversidad del grupo, los registros de Symphypleona corresponden a 28 géneros y 73 especies para México, con distribución en 26 de los 32 estados.

El conocimiento que se tiene sobre la distribución de Symphypleona en el país proviene principalmente de investigaciones llevadas a cabo por Palacios-Vargas (1997, 2014) y Palacios-Vargas *et al.* (2000), son las obras más importantes que aportan datos de las especies presentes en el país. Por esto el aporte de esta investigación es significativo, ya que es un esfuerzo digno al reunir una lista actualizada de los Symphypleona de México a partir de trabajos anteriores de todos los colémbolos del país.

En conclusión, la diversidad de Collembola todavía se subestima en México, lo anterior se debe a la falta de especialistas que exploren sistemáticamente la superficie del país e incrementen el conocimiento de su fauna, solo el aumento de la investigación taxonómica y ecológica puede mejorar el conocimiento y bases para establecer planes de conservación eficientes, la composición de fauna siempre es interesante y ayuda a señalar dónde es necesario enfocar esfuerzos.

### **4.2 Relaciones filogenéticas**

A partir de los genes 18S y 28S es posible observar que las especies de la familia Dicyrtomidae no fue monofilética en ambos árboles, aunque con buena probabilidad posterior, se apreciaron clados con fuertes politomías, que incluyeron miembros hasta de cuatro familias diferentes, de allí que no haya resultados óptimos para discutir de adecuada manera.

Este trabajo no reúne a todas las especies de Symphypleona presentes en México, esto porque en las colectas realizadas no se han podido capturar ejemplares de todas ellas o también al procesar los ejemplares no se mostraban en condiciones de ser sometidos a una extracción de ADN satisfactoria. Aunque se recomienda que mayor cantidad de especies deberían añadirse en un futuro a los análisis realizados en este trabajo con el fin de completar el conocimiento sobre las relaciones de Dicyrtomidae con otras familias del orden, pero por este caso las especies analizadas permiten realizar una primera aproximación a la comprensión del escenario sobre la utilidad que tienen los genes utilizados a este nivel.

#### 4.3 Literatura citada

- Abrantes, E.A., Bellini, B.C., Bernardo, A.N., Fernandes, L.H., Mendonca, M.C., Oliveira, E.P., Queiroz, G.C., Sautter, K.D., Silveira, T.C., Zeppelini, D., 2010. Synthesis of Brazilian Collembola: an update to the species list. *Zootaxa* 2388: 1–22.
- Heckman, C.W. 2001. Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Collembola. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. 418 p.
- Palacios-Vargas J.G. 1992. Guide to the Springtails of Panama and Costa Rica (Collembola). In: Insects of Panama and Mesoamerica. Selected Studies. Quintero, D. & Aiello, A. (Eds). Oxford. Oxford University Press. 25–36 pp.
- Palacios-Vargas, J.G. 1997. Catálogo de los Collembola de México. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México. 102 p.
- Palacios-Vargas, J.G. 2014. Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Suplemento* 85: 220–231.
- Palacios-Vargas, J.G., Castaño-Meneses, G. & Mejía-Recamier, B.E. 2000. Collembola. In: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Vol. II. Llorente, J., González-Soriano, E. & Papavero, N. (Eds.). México City. Universidad Nacional Autónoma de México. 249–273 pp.