



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**Análisis taxonómico de *Simocephalus* (Cladocera:
Daphniidae) del centro de México con énfasis en
Simocephalus cf. *punctatus* de la Cantera Oriente (REPSA,
CDMX)**

T E S I S

Que para obtener el título de

BIÓLOGO

P R E S E N T A

MIGUEL SÁNCHEZ GÓMEZ

Director de tesis:

Dr. Cristian Alberto Espinosa Rodríguez



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mí:

Aunque pudiera sonar algo ególatra, este trabajo me lo dedico a mí mismo, pues aun después de todas las adversidades, los malos momentos que he vivido dentro y fuera de la escuela; lo cierto es que jamás me di por vencido, continúe hasta adelante con la frente en alto, aunque por dentro ya no podía dar un paso más. Hoy con este trabajo doy por fin una conclusión a esta etapa de mi vida, esperando seguir adelante y logrando llegar así a ser un gran biólogo.

A Fernanda:

Para ti, que llegaste en el momento menos esperado y me llenaste de amor, fuerza y motivación, por ser la luz en este oscuro camino, por estar conmigo y por enseñarme que el amor sí existe. Deseo una larga vida a tu lado, porque eres alguien muy especial y maravillosa, significas mucho para mí. Te amo con todo mi corazón osita.



“Judge not, and you will not be judged.

Condemn not, and you will not be
condemned.

Forgive, and you will be forgiven.”

Joseph Seed

Agradecimientos

A mi escuela, la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, quien me abrió sus puertas y me permitió usar sus instalaciones, dándome así un grato recuerdo para toda mi vida.

A mi carrera de Biología, por darme los mejores cuatro años de mi vida, por otorgarme las mejores experiencias, conocimientos, profesores, materias y prácticas, gracias por cambiarme la forma de ver el fenómeno más importante del mundo, la vida.

A mi familia, en especial a mis padres, Miguel Sánchez Cervantes y Adela Gómez Cruz, mi hermana Dora Sánchez Gómez, mi cuñado Juan Esteban García, mis sobrinos Bruno y Mía Esteban Sánchez, así como a mis abuelos Teodora Cruz Castañón y Martín Gómez Gutiérrez, gracias por su apoyo en mí vida, por enseñarme tantas cosas y por quererme tal y como soy.

A mi tutor, el Dr. Cristian Alberto Espinosa Rodríguez, quien desde tercer semestre vio algo único en mí, brindándome los conocimientos y herramientas necesarias para llevarlo a cabo, gracias por su confianza, tiempo, espacio y conocimiento compartido, gracias por ser un increíble guía, amigo y un ejemplo a seguir.

A mi comité evaluador, el Dr. Alfonso Lugo Vázquez, la Dra. Ligia Rivera de la Parra, el M. en C. José Manuel González Fernández y el Dr. Marco Antonio Jiménez Santos, gracias por ser increíbles profesores, por su tiempo, comentarios, críticas y enseñanzas.

Al Dr. Elías Piedra, quien nos proporcionó las herramientas, reactivos y el espacio en su laboratorio para la realización de la parte molecular, así como sus consejos y ayuda con las secuencias, gracias por ser un gran profesor y por ayudarme mucho.

A mis compañeros del Grupo de Investigación de Limnología Tropical, en especial a Iván Saavedra, Christian Torres, Meztli Martínez, Luz Montes, Itzel Pazarán y Yuridia Carrillo, gracias por su compañía y apoyo en campo y laboratorio, son un increíble grupo.

A mis amigos y compañeros de la carrera, en especial a Luis Bautista, Andrea Soto, Josselyn Marcos, Fabián Islas, Daniel Domínguez, Iván Enciso, Jair Ramírez, Sara Ignacio y Charly Monroy (mi mejor amigo); gracias por acompañarme en esta travesía, por enseñarme acerca del verdadero compañerismo y por haber estado siempre conmigo, gracias por compartir sus historias, risas, enojos, anécdotas, gracias por todo.

Índice

Resumen	5
Abstract.....	7
Introducción.....	9
Antecedentes.....	12
Planteamiento del Problema	15
Justificación	16
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Área de estudio	17
Resultados.....	24
Discusión	53
Conclusiones.....	57
Referencias	59
Anexos	69
ANEXO 1	69
ANEXO 2	74
ANEXO 3	76
ANEXO 4	85
ANEXO 5	87

Resumen

Dentro de la familia Daphniidae, se encuentra al género *Simocephalus*, comúnmente conocidos como «pulgas de agua sin espina», estos son abundantes en las zonas litorales con vegetación sumergida y aunque se tiene el conocimiento de que son especies dominantes, su estudio en América del Norte y en particular en nuestro país es limitado. Por lo tanto, el objetivo de esta tesis fue analizar la diversidad de las especies del género *Simocephalus* (Cladocera: Daphniidae) del centro de México a través de la taxonomía integrativa, para lo cual se consideraron características morfológicas y moleculares (COI), teniendo un énfasis en *Simocephalus cf. punctatus* de la Cantera Oriente (CDMX).

Para esto, se realizó una revisión bibliográfica donde se encontró un aumento en el número de especies registradas para México en los últimos 14 años (de cuatro a ocho especies). Asimismo, la presencia de este género aumento a nueve estados de la República Mexicana, lo que representa una distribución en 18 entidades federativas del país. En BOLD Systems, se encontró que existe información de diez taxones; donde únicamente un 64.29% del total registrado cuentan con un respaldo molecular, como es el caso de *S. vetulus* que ha sido estudiado en ecología experimental, sin embargo, no cuenta con datos moleculares y de acuerdo con la literatura, habita únicamente en Europa y el norte de África.

Por otro lado, los sitios de muestreo correspondieron a nueve diferentes localidades ubicadas en la región central del país, en los Estados de México, Morelos y la Ciudad de México. De acuerdo con la identificación morfológica, las especies encontradas correspondieron a *Simocephalus cf. mixtus* (Chapa de Mota, Xochimilco y Salazar), *Simocephalus serrulatus* (Presa del Llano), *Simocephalus cf. exspinosus* (Chimaliapan y Salazar) y *Simocephalus cf. punctatus* (Cantera Oriente Lago Norte y Centro), del cual se describió al macho. Los árboles construidos mostraron que en el caso de *Simocephalus cf. exspinosus* se diferenció a las poblaciones pertenecientes del estado de Aguascalientes (datos de BOLD Systems) de las ubicadas en la región del centro de México. Cuestión similar ocurrió con *Simocephalus cf. mixtus* donde se mostró un agrupamiento del complejo cf. para toda la región central, mostrando una separación con las secuencias de Durango. En el caso de *Simocephalus cf. punctatus*, se encontró un patrón donde se separa a la especie registrada de Coahuila con los organismos cf. reportados en este estudio. Finalmente, *Simocephalus serrulatus* mostró

distintas agrupaciones para los sitios de Sonora, Tlaxcala y el Estado de México, los cuales difieren de las poblaciones cf. de Quintana Roo y Campeche respectivamente.

Como conclusiones, en esta investigación se demostró la importancia de la taxonomía integrativa para la determinación taxonómica de especies del zooplancton, pues diferentes caracteres no concuerdan con las descripciones originales; sin embargo, se necesitan secuencias con un mejor porcentaje de pureza para comparar estas filogenias correctamente y así tener mejores datos para un mayor soporte.

Abstract

Within the family Daphniidae, the genus *Simocephalus* is commonly known as "spineless water fleas" these are abundant in littoral areas with submerged vegetation. Although it is known that they are dominant species, their study in North America and particularly in our country is limited. The main of this thesis was to analyze the diversity of the species of the genus *Simocephalus* (Cladocera: Daphniidae) from central Mexico through integrative taxonomy considering morphological and molecular characteristics (COI), with an emphasis on *Simocephalus* cf. *punctatus* from the Cantera Oriente (CDMX).

A bibliographic review was carried out where the number of species registered for Mexico increased (from four to eight species). Also, the presence of this genus increased to nine states of the Mexican Republic, which represents a distribution in eighteen states of the country. In BOLD Systems, it was found that there is information on ten taxa, where only 64.29% of the total registered have molecular support, as is the case of *S. vetulus*, which has been studied in experimental ecology, but does not have molecular data and according to the literature, only inhabits Europe and North Africa.

Sampling sites corresponded to nine different localities in the country's central region, in the States of Mexico, Morelos and Mexico City. According to morphology, the species recorded were *Simocephalus* cf. *mixtus* (Chapa de Mota, Xochimilco and Salazar), *Simocephalus serrulatus* (Presa del Llano), *Simocephalus* cf. *exspinosus* (Chimaliapan and Salazar) and *Simocephalus* cf. *punctatus* (Cantera Oriente Norte and Centro Lake), of which the male was described. The phylogeny trees constructed showed that in the case of *Simocephalus* cf. *exspinosus*, the populations belonging to the state of Aguascalientes (BOLD Systems data) were differentiated from those located in the central region of Mexico. A similar issue occurred with *Simocephalus* cf. *mixtus* where a grouping of the cf. complex was shown for the whole central region, showing a separation with the Durango sequences. In the case of *Simocephalus* cf. *punctatus*, a pattern was found separating the species recorded from Coahuila with the cf. organisms reported in this study. Finally, *Simocephalus serrulatus* showed distinct groupings for the sites of Sonora, Tlaxcala, and the State of Mexico, which differ from the cf. populations of Quintana Roo and Campeche, respectively.

As conclusions, this research demonstrated the importance of integrative taxonomy for the taxonomic determination of zooplankton species, since different characters do not agree with the original descriptions; however, sequences with a better percentage of purity are needed to compare these phylogenies correctly and thus have better data for further support in the phylogenies.

Introducción

La diversidad de microcrustáceos dulceacuícolas en México sigue siendo una cuestión poco estudiada, pues aun después del auge que mantuvo a finales de los años 90's y principios de los años 2000, el número de especies conocidas no ha aumentado lo suficiente para saber la diversidad que tienen las aguas mexicanas, ya que solamente se ha estudiado menos del 1% de las cuencas hidrográficas del país (Elías-Gutiérrez *et al.*, 1999; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a). La relevancia de estos organismos es ser un eslabón intermedio en las redes tróficas de los cuerpos de agua epicontinentales, así como su uso como organismos de bioensayo para pruebas de toxicidad e indicadores biológicos (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2004; Paggi, 2004), para estudios paleolimnológicos a través de la inferencia de variables paleoclimáticas, paleoambientales, de profundidad, eutrofización y deforestación (Wojewódka *et al.*, 2020), así como su aprovechamiento como alimento vivo en procesos de acuicultura, donde los cladóceros constituyen el grupo que mejor se desempeña para este proceso (Muñoz *et al.*, 2013; Rajoy, 2015).

Los cladóceros son un grupo muy diverso perteneciente de la clase Branchiopoda, el cual posee alrededor de 850 especies descritas a nivel mundial (Kotov, 2019). En cuanto a su morfología, se caracterizan por tener un cuerpo dividido en cabeza, abdomen y postabdomen, el cual tiene la peculiaridad de encontrarse parcial o totalmente cubierto por un caparazón de quitina (en su mayoría bivalvo, aunque con excepciones) que no presenta articulación dorsal, por lo que se deja libre la porción cefálica. La cabeza, además de estar bien definida y presentar poros, se encuentra recubierta por un escudo cefálico; de igual manera, en ella se presentan diferentes estructuras de carácter taxonómico, como un ojo nauplio que se encarga de percibir las intensidades de luz, una boca provista de apéndices masticatorios, un par de anténulas reducidas con sedas sensitivas apicales, así como un par de antenas birrámeas muy desarrolladas para la natación (Ramírez, 1981; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a; Silva-Briano *et al.*, 2020). Sus apéndices torácicos son de forma y número variable, estos presentan funciones filtradoras para su alimentación y respiración; el abdomen posee en las hembras una cámara incubadora situada entre el dorso del cuerpo y el caparazón (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a).

La mayoría de las especies se reproducen por partenogénesis; sin embargo, cuando se presentan ciertas condiciones, como un cambio en el fotoperiodo, temperatura, nutrición o

cuando hay sobrepoblación, las hembras optan por la reproducción sexual y al ser fecundadas por machos, producen estructuras de resistencia que permiten la persistencia en su ambiente, así como su dispersión (Prieto, 2001; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a; Toyota *et al.*, 2021).

Dentro de los grupos que conforman a los cladóceros, encontramos al Infraorden Anomopoda, anteriormente considerado cosmopolita; sin embargo, en la actualidad se tiene la hipótesis de que presentan una distribución restringida (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2004; Zhi-Qiang, 2011). Generalmente los anomópodos son de tamaño pequeño con una talla entre los 0.2 y 6 mm, con un cuerpo ovalado y comprimido lateralmente, el cual se divide en una región cefálica recubierta por un yelmo y una región postcefálica protegida por un caparazón. Además, dos características que ayudan a distinguirlos de los demás infraórdenes de branquiópodos es la capacidad para producir huevos de resistencia recubiertos de efipio, así como toracópodos heterónomos (Sala *et al.*, 2015). Estos crustáceos poseen cinco pares de extremidades torácicas conocidas como pereiópodos o apéndices torácicos y comprenden principalmente las familias: Daphniidae, Moinidae, Ilyocryptidae, Macrothricidae, Acantholeberidae, Ophryoxidae, Eurycercidae, Chydoridae y Bosminidae (Sacherová y Hebert, 2003; Smirnov, 2017).

El género *Simocephalus* pertenece a la familia Daphniidae, se encuentra compuesto por organismos comúnmente conocidos como “pulgas de agua sin espina”, y aunque se tiene el conocimiento de que son abundantes en las zonas litorales, su estudio en América del Norte sigue siendo muy limitado, al igual que otros grupos de cladóceros (Orlova-Bienkowskja, 2001; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2004; Hovind, 2007). Las características morfológicas de los organismos de este género se encuentran en el **Anexo 1**.

Simocephalus cuenta con 5 subgéneros (*Simocephalus* s. str.), *Simocephalus* (*Echinocaudatus*), *Simocephalus* (*Acutirostratus*), *Simocephalus* (*Coronacephalus*) y *Simocephalus* (*Aquipiculus*), las características diferenciales para estos se encuentran referidas en el **Anexo 2**.

Para la correcta diferenciación de estos subgéneros es necesario poner hincapié en los caracteres correspondientes a la cabeza, el rostro, la prominencia de la valva dorso-posterior, su ocelo y finalmente, el tamaño y número de pectenes en la garra postabdominal (Hovind, 2007). Aunque en el mundo se han registrado 24 especies de *Simocephalus* (Kotov, 2019),

en nuestro país, este número se restringe a solo 4 especies y una subespecie (Tabla 1; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a), las cuales han sido identificadas en los estados de Aguascalientes, Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Nuevo León, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

Tabla 1. Especies del género *Simocephalus* identificadas en México (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a).

INFRAORDEN ANOMOPODA		
Subgénero	Especies	Distribución en México
	<i>Simocephalus vetulus</i> (Schoedler, 1858)	Ciudad de México, Estado de México y Aguascalientes
<i>Simocephalus s. str</i>	<i>Simocephalus vetulus elizabethae</i> (King, 1853)	Hidalgo y Ciudad de México
	<i>Simocephalus mixtus</i> (Sars, 1903)	Quintana Roo
<i>Simocephalus</i> (<i>Echinocaudatus</i>)	<i>Simocephalus exspinosus</i> (Koch, 1841)	Estado de México y Aguascalientes
<i>Simocephalus</i> (<i>Coronocephalus</i>)	<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)	Estado de México, Yucatán, Hidalgo, Tabasco, Aguascalientes, Quintana Roo y Nuevo León

Dentro del subgénero *Simocephalus s. str.*, se encuentra *Simocephalus punctatus* (Figura 1), esta especie recibe ese nombre ya que su ocelo se presenta en forma de punto, lo cual es una característica diacrítica de sus poblaciones que las van a separar de *S. vetulus* principalmente; las hembras partenogénicas suelen medir de 1.5 a 2.23 mm de largo, mientras que las hembras con efipio presentan una talla de 1.2 a 1.9 mm. Morfológicamente esta especie no presenta prominencias en su valva dorso-posterior, el margen de la valva dorsal es bajo y no sobresale hacia atrás como ocurre en otros subgéneros, finalmente el margen ventral de la cabeza es recto o ligeramente cóncavo.

La importancia de esta especie así como del subgénero en cuestión radica en la variabilidad morfológica que van a presentar, ya sea por cuestiones ontogénicas o por el grado de diversidad a nivel de población; aunado a esto, la falta de descripciones de machos fuera de *S. vetulus* ha provocado incongruencias en los registros alrededor del mundo, pues solamente se sabe las longitudes de estos, lo cual se presenta como un problema al momento de identificar correctamente a las especies (Orlova-Bienkowskaja, 2001; Hovind, 2007).

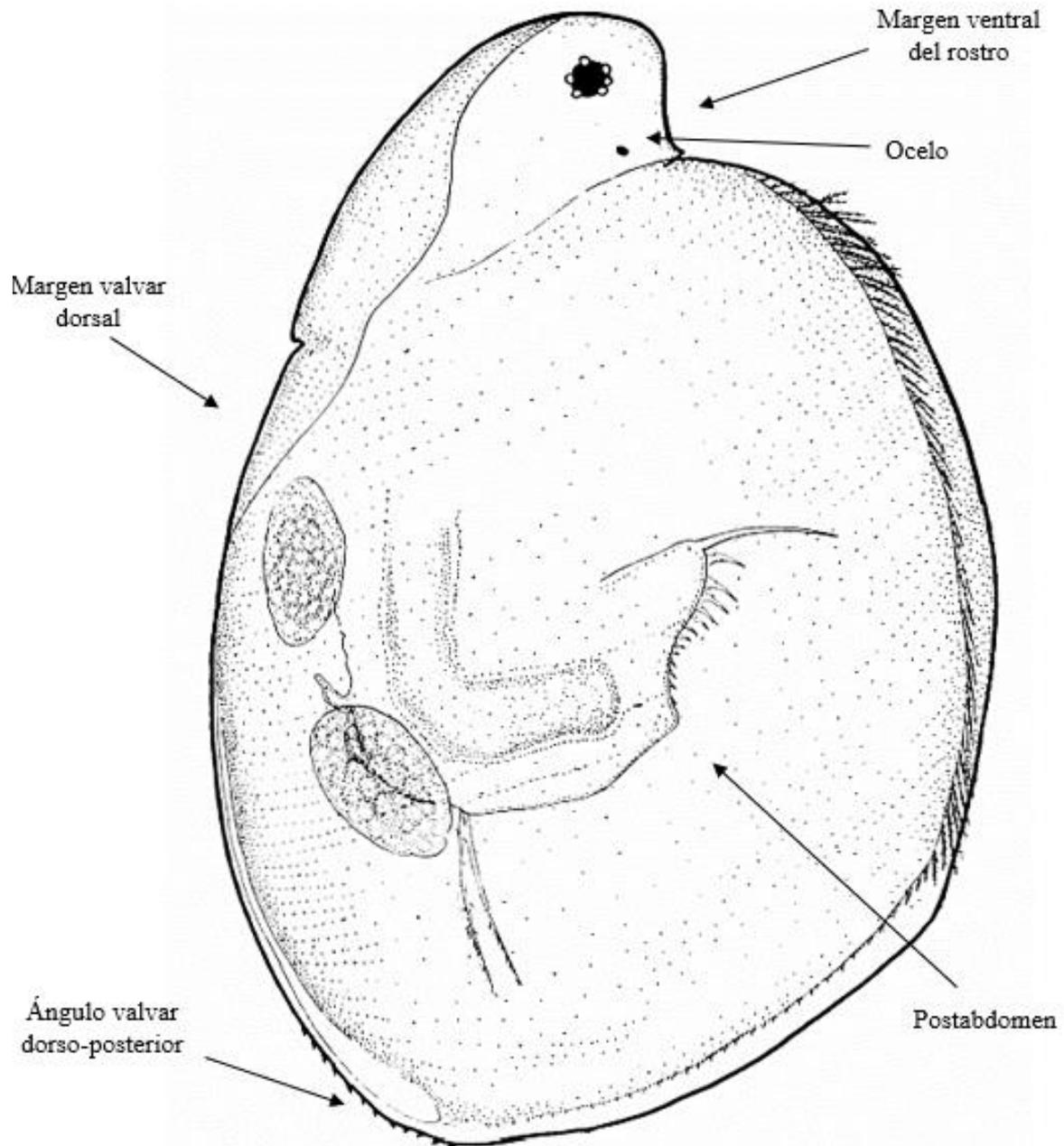


Figura 1. Holotipo morfológico de una hembra partenogenética perteneciente a *Simocephalus punctatus* (Orlova-Bienkowskaja, 2001).

Antecedentes

Hann (1986) comparó la variación genética enzimática en poblaciones de *Simocephalus* en el suroeste de Ontario, Canadá. Realizó muestreos en 10 cuerpos de agua temporales, separando únicamente hembras partenogenéticas para crear clones. Analizó cada clon a

través de una electroforesis en gel de poliacrilamida para 12 loci enzimáticos. Como resultados se obtuvo que el porcentaje promedio de loci polimórficos por población fue del 10.5%, mientras que la heterocigosidad individual promedio fue menor del 5%, lo que habla de niveles muy bajos de variabilidad genética entre las poblaciones. Sin embargo, su diferenciación espacial sugirió que tanto la selección natural, como los efectos fundadores han desempeñado un papel importante en la divergencia evolutiva de este género.

Mas adelante, Hann (1995) evaluó la variación alozimática en poblaciones de *Simocephalus* de América del Norte contra poblaciones de Europa. Los organismos fueron recolectados en estanques y zonas litorales de 24 localidades de Canadá hasta Florida, así como en sitios del Reino Unido y Alemania. Para el análisis genético, realizó una electroforesis donde se analizaron 7 loci polimórficos enzimáticos para especies de *Simocephalus*. Como resultados, distinguieron cuatro especies que presentaron sustituciones alélicas únicas encontradas para al menos dos loci; además se diferenciaron ocho especies en América del Norte la cuales claramente estaban separadas de las europeas. Tanto *Simocephalus* cf. *vetulus* como *Simocephalus* cf. *serrulatus* se distribuyeron ampliamente en América del Norte, en contraste, *Simocephalus* cf. *congener* y *Simocephalus* cf. *exspinosus* estuvieron diferenciados alozimática y morfológicamente.

Posteriormente, Orlova-Bienkowskaja (1995) realizó la primera revisión taxonómica de especies del género *Simocephalus* en la zona de los trópicos del mundo. Donde 3 especies (*Simocephalus latirostris*, *S. lusaticus* y *S. mesorostris*) tuvieron un campo de rango a subgénero y además se describió al macho desconocido de *Simocephalus latirostris*, mostrándose que no es una especie pantropical como anteriormente se suponía.

En otro estudio, Yoon y Won (2000) redescubrieron diferentes especies del género *Simocephalus* s. str. (*S. mixtus*, *S. vetulus*, *S. elizabethae* y *S. vetuloides*) que se encontraban mal identificadas basándose en especímenes recolectados de 97 diferentes cuerpos de agua en Corea del Sur. Se examinaron diferentes caracteres taxonómicos como lo son las antenas, anténulas, caparazón, toracópodos, postabdomen y garras post-abdominales. Como resultados, se volvió registrar a *Simocephalus mixtus* para Corea, pues esta especie había sido taxonómicamente mal identificada como *Simocephalus vetulus* y *Simocephalus vetuloides*. Esto se determinó debido a ciertas características morfológicas, como lo fue que un ángulo

dorso-posterior bajo y sobresaliente, un margen ventral del rostro profundamente deprimido, así como un ocelo alargado y el no presentar pectenes en forma de peine en la garra postabdominal.

De acuerdo con lo registrado para México, Elías-Gutiérrez *et al.* (2008a) realizaron una guía ilustrada para la identificación de las 150 especies de cladóceros dulceacuícolas de México. En este trabajo, además de una clave taxonómica detallada, se realizó una recopilación de la fauna de cladóceros del país, entre ellas cabe destacar la presencia de los cinco taxones de *Simocephalus* recopilados hasta la fecha (Tabla 1).

Por su parte, Hovind (2007) realizó las primeras filogenias moleculares (de ADN nuclear y mitocondrial) de especies del género *Simocephalus* y comparó directamente especímenes de América con organismos tipo de Europa. Para la secuenciación del ADN se crearon primers generados para un fragmento del gen HSP90 a partir de secuencias de *Daphnia* y *Simocephalus*. Como resultados, se mostró que *Simocephalus* s. str. fue un grupo monofilético, lo cual fue sustentado tanto por el árbol filogenético basado en COI respaldado por un análisis bayesiano (100%), así como el árbol basado en HSP90, siendo respaldado por valores de 81% y 95% en los análisis de bootstrap y bayesiano respectivamente. Aledaño a esto, las filogenias de *Simocephalus* revelaron la presencia de dos grupos distintos parecidos a *Simocephalus vetulus* del Neártico (Canadá) y el Neotrópico (Chile y Argentina), sin embargo, la especie como tal sigue siendo endémica del Paleártico (Europa); además se menciona que *S. punctatus* al ser es similar en todos los aspectos a *S. vetulus*, excepto por el ocelo en forma de punto, puede prestarse a identificaciones erróneas.

En la taxonomía de Cladocera, los machos son muy importantes en la determinación de las especies, sin embargo, no es común encontrar a estos especímenes en campo, por lo cual el uso de cultivos puede servir para inducir el macho y así tener una descripción completa de las especies. Por ejemplo, Shi *et al.* (2011) proporcionaron datos morfológicos y biológicos de especímenes machos cultivados en laboratorio pertenecientes a la especie *Simocephalus himalayensis himalayensis* endémica en la meseta tibetana, en China, los cuales se realizaron a través de la disminución en la temperatura de los cultivos. Ya apareciendo los machos, sólo los sexualmente maduros fueron seleccionados para su descripción y posterior resguardo. Como resultados, se obtuvo que miden aproximadamente de 1.01 a 1.20 mm de largo, el

margen de sus anténulas posee dos papilas sensoriales, el margen valvar dorsal es liso y sus conductos deferentes se encuentran entre el ángulo supra anal y los dientes anales proximales del postabdomen.

Más recientemente, Shuh-Sen *et al.* (2012) realizaron un análisis molecular y morfométrico para la diferenciación de tres especies pertenecientes al subgénero *Simocephalus* s. str. (*S. vetulus*, *S. vetuloides* y *S. mixtus*) en Taiwán. Para el análisis molecular, se utilizaron 98 especímenes de *Simocephalus* a través del gen COI (Citocromo Oxidasa I) para analizar así la relación genética de las especies. Para el alineamiento y filogenia de los organismos, se descargaron las secuencias en GenBank y se alinearon visualmente utilizando el programa BioEdit vers. 7.0.2. La diversidad de haplotipos, de nucleótidos y las distancias genéticas se midieron con MEGA ver. 3.0, usando a *Daphnia similoides* y *Diaphanosoma dubium* como grupos externos. El árbol filogenético se derivó utilizando todas las secuencias mediante el método de Neighbor-joining (NJ) basado en Kimura 2 parámetros (K2P). Como resultados, observaron que las especies compartían varios haplotipos, y la distancia genética interespecífica era simplemente de 0.00671 a 0.00785, concluyendo así que estas tres especies pertenecen a la misma y debían tratarse como *Simocephalus* cf. *vetulus*.

Finalmente, Huang *et al.* (2014) utilizando material original de diferentes localidades de China, así como datos extraídos de GenBank, investigaron y recabaron la diversidad y filogenia del género *Simocephalus* utilizando secuencias del gen COI, así como de genes nucleares 18S. Dentro de los resultados más importantes, se mostró que el análisis Neighbor-joining (NJ), el de máxima probabilidad (ML) y los análisis de inferencia bayesiana (BI) condujeron a topologías de árboles altamente congruentes y que la agrupación de los clados más profundos concuerda con la clasificación intergenética propuesta por Orlova-Bienkowskaja en el 2001, confirmando además la presencia de varios linajes de los subgéneros *Simocephalus* (*Echinocaudatus*) y *Simocephalus* s. str. en China. Sin embargo, los autores precisan la necesaria implementación de más características morfológicas diferenciales entre hembras y machos para corroborar los resultados.

Planteamiento del Problema

Simocephalus es un género de cladóceros que se encuentra comúnmente en la zona litoral de cuerpos de agua dulce donde son dominantes; sin embargo, el conocimiento taxonómico y

ecológico que se tiene acerca de las especies de este género en nuestro país, sigue siendo hoy en día limitado, pues desde la revisión de Elías-Gutiérrez *et al.* (2008a), el número de especies registradas en aguas mexicanas no ha incrementado; además, en la mayoría de los casos no existen registros fotográficos o análisis morfológicos y/o moleculares que sirvan de referencia. Asimismo, el número de especies sigue siendo bajo, en especial si tenemos en consideración otros países megadiversos como lo son China, que registra 12 especies (Xiang *et al.*, 2015), lo cual surge como un problema si tomamos en cuenta el potencial de diversificación que este género presenta (Hovind, 2007), además de que la zona geográfica del centro de México ha sido reconocida como un área de diversificación de especies (Sánchez *et al.*, 2007). Por otra parte, a través de los avances científicos que se han realizado en los últimos años para la caracterización y diferenciación de las especies del zooplancton, se puede saber con mayor facilidad si existen nuevas especies o bien, si estas son variantes poblacionales, como podría ser el caso de *Simocephalus cf. punctatus* de la Cantera Oriente, quien únicamente difiere en la forma del ocelo. Cabe mencionar que existen varios registros de *Simocephalus vetulus* en México (Elías-Gutiérrez *et al.* 2006; Elías-Gutiérrez *et al.* 2008b; Lopes *et al.* 2011; Santos-Medrano *et al.* 2017), que de acuerdo con Orlova-Bienkowskaja, (2001) y Hovind (2007) este taxón se distribuye únicamente en Europa y el norte de África; por lo que se podría deber a una errónea determinación debido a que presenta una alta similitud morfológica con *Simocephalus punctatus*.

Justificación

Simocephalus es un género constituido por cladóceros de talla relativamente grande (2-3 mm) que se caracterizan por poseer una amplia distribución en la zona litoral de las aguas epicontinentales alrededor del mundo, así como tener un potencial de uso en procesos de ecotoxicología, ecología, evolución, y acuicultura. Se estima que este género puede incluir alrededor de 24 especies (Kotov, 2019); sin embargo, debido a que su taxonomía es difícil de determinar, el conocimiento que se tiene acerca de su diversidad potencial es poca, por ejemplo, en nuestro país se tiene registros de únicamente 4 especies y una subespecie (*Simocephalus exspinosus*, *Simocephalus mixtus*, *Simocephalus serrulatus*, *Simocephalus vetulus* y *Simocephalus vetulus elizabethae*), las cuales datan de hace 14 años (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2008a); además, existe la presencia de *S. vetulus*, cuya distribución no concuerda con lo expuesto por Orlova-Bienkowskaja (2001). Por todo esto, es necesaria una

actualización taxonómica integrativa del género *Simocephalus* presente en las aguas del centro de México, a fin de tener más datos y aumentar el conocimiento del zooplancton dulceacuícola mexicano. En el caso de *Simocephalus punctatus*, la descripción del holotipo aún se encuentra incompleta, pues al no existir una descripción apropiada del macho, esto dificulta su precisa identificación, por lo que en el presente estudio también se busca realizar la descripción morfológica del macho aislado de la Cantera Oriente (CDMX).

Objetivo General

Analizar la diversidad de las especies del género *Simocephalus* (Cladocera: Daphniidae) del centro de México con énfasis en *Simocephalus* cf. *punctatus* de la Cantera Oriente (CDMX) a través de una taxonomía integrativa.

Objetivos Específicos

Elaborar un mapa de distribución de las especies de *Simocephalus* en México con base en registros recopilados en literatura, considerando la base de datos de BOLD Systems.

Determinar el grado de divergencia de las diferentes poblaciones de *Simocephalus* del centro de México a través de una taxonomía morfológica y molecular.

Describir el macho de *Simocephalus* cf. *punctatus* aislado de la Cantera Oriente.

Área de estudio

Los sitios de muestreo correspondieron a nueve diferentes localidades ubicadas en la región central del país, en los Estados de México, Morelos y la Ciudad de México (Figura 2). En general, los sitios de muestreo se encontraron en el Eje Neovolcánico Transversal, el cual se caracteriza por ser una zona montañosa que cuenta con extensos valles y otras áreas de llanos, cosa que favorece ampliamente la formación de varios cuerpos de agua epicontinentales como ríos, lagos, lagunas y embalses (Nava *et al.*, 1998). El clima en esta región es principalmente de tipo templado, aunque se pueden encontrar zonas de tipo cálido tropical principalmente en el Estado de Morelos (Vidal, 2005). Debido a estas características, es que la vegetación predominante en estas zonas fueron los bosques de coníferas y los bosques mixtos (Rzedowski, 2006). Las fotografías de los sitios de muestreo, así como de las actividades realizadas en campo se encuentran referidas en el **Anexo 3**; las características particulares de cada sitio de muestreo son:

Lagos de la Cantera Oriente, Coyoacán, Ciudad de México. La Cantera Oriente se trata de un sistema de cuerpos de agua dulce volcánicos poco profundos, que se encuentran ubicados en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria, presenta unas coordenadas geográficas de 19° 19' 05" latitud Norte y 99° 10' 22" longitud Oeste, su altitud es 2270 msnm. El tipo de vegetación predominante en sus alrededores es el matorral xerófilo de alta elevación (Lot, 2007).

Lago de Xochimilco, Xochimilco, Ciudad de México. La zona lacustre de Xochimilco es un sitio Ramsar con un área rectangular de 10 km² situada en la parte nortecentral de la Delegación Xochimilco, este cuerpo de agua se encuentra en las coordenadas geográficas 19° 17' 06" Norte y 99° 06' 07" Oeste y presenta una altitud de 2240 msnm. Actualmente, por la intensa actividad del hombre, el sistema lacustre de Xochimilco se encuentra reducido a canales, apantles, lagunas permanentes y temporales (Xolalpa, 2009; Bojórquez, 2017).

Cuerpo de agua temporal, Chapa de Mota, Estado de México. Santa María Chapa de Mota, se ubica en el centro del Eje Neovolcánico Transversal, la zona se caracteriza por presentar un clima templado subhúmedo y en su mayoría cubierta por bosque de Quercus (encino) y Quercus-Pinus. El municipio forma parte de la Región Hidrológica del Alto Pánuco, la cual se sitúa dentro de las 5 más grandes del país; geográficamente, el cuerpo de agua muestreado se encuentra en las coordenadas 19° 49' 19.95" Norte y 99° 31' 57.02" Oeste y presenta una altitud de 2590 msnm (Trejo-Díaz y Tejero-Diez, 2017).

Embalse Laguna Salazar, Lerma, Estado de México. La laguna de Salazar es un embalse que se encuentra en el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla en los municipios de Lerma, Ocoyoacac y Huixquilucan en el Estado de México. Geográficamente se encuentra en las coordenadas 19° 18' 26" latitud Norte y 99° 23' 20" longitud Oeste, a una altitud de 3013 msnm (Hernández, 2013). Este sitio sirve como refugio y lugar de actividades recreativas para los habitantes de las ciudades de Toluca y Ciudad de México.

Laguna Chimaliapan, San Mateo Atenco, Estado de México. La laguna de San Pedro Tultepec de Quiroga, mejor conocida como la Laguna de Chimaliapan o Chimaleapan, es una de las Ciénegas del Alto Lerma y sitio Ramsar, se ubica en las coordenadas geográficas 19° 15' 04" latitud Norte y 99° 30' 14" longitud Oeste, a una altitud de 2580 msnm. Este

cuerpo de agua se extiende sobre un área de 2080 hectáreas, con una profundidad que varía hasta los 4 m. La zona básicamente se trata de un parque ecoturístico, sin embargo, en el costado Oeste de la laguna corre el Río Lerma, un sistema de drenaje al aire libre donde se descargan las aguas residuales del Estado de México, las cuales también ingresan al humedal. (Vázquez, 2004; García-García *et al.*, 2012; Pérez, 2015).

Embalse Presa Benito Juárez, Villa del Carbón, Estado de México. La presa Benito Juárez se localiza en la localidad de San Martín Cachuapan, en las coordenadas geográficas 19° 41' 24" latitud Norte y 99° 25' 39" longitud Oeste, su altitud es de 2524 msnm. Este sitio básicamente se trata de un parque ecoturístico, donde es posible realizar paseos en caballo, el manejo de cuatrimotos, así como la práctica de pesca deportiva (Espinosa-Rodríguez *et al.*, 2021).

Embalse Presa del Llano, Villa del Carbón, Estado de México. La presa de "El Llano" se localiza en la localidad de San Jerónimo Zacapexco, en Villa del Carbón, precisamente en las coordenadas geográficas 19° 39' 30" latitud Norte y 99° 30' 28" longitud Oeste, a una altitud aproximada de 2,800 msnm (Moreno, 2014). El embalse tiene más de 45 m de profundidad máxima y se encuentra rodeado por un paisaje boscoso y montañoso. El clima es subhúmedo con dos estaciones distintas: la época de lluvias (de mayo a septiembre) y la época de secas (de octubre a abril) (Muñoz-Colmenares *et al.*, 2017).

Lago Zempoala, Huitzilac, Morelos. El lago Zempoala se localiza dentro del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, dentro de las coordenadas geográficas 19° 03' 00" N y 99° 18' 42" O, a una altitud de 2800 msnm (García *et al.*, 2010). Presenta un largo máximo que va desde los 401.73 m hasta los 508 m. en dirección norte-noreste, mientras que en dirección sursuroeste, tiene un ancho promedio de 207.9 m (Tricart, 1985).

Lago Tonatiahua, Huitzilac, Morelos. El lago Tonatiahua se ubica dentro del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, en las coordenadas geográficas 19° 03' 19" latitud Norte y 99° 19' 00" longitud Oeste, a una altitud de 2810 msnm. Este cuerpo de agua presenta una superficie de 53.40 m², su ancho máximo es de 231.25 m, mientras que el mínimo es de 44.70 m., el tipo de vegetación en sus alrededores corresponde a bosque de encino, pino y de oyamel (García-Rodríguez *et al.*, 2003).

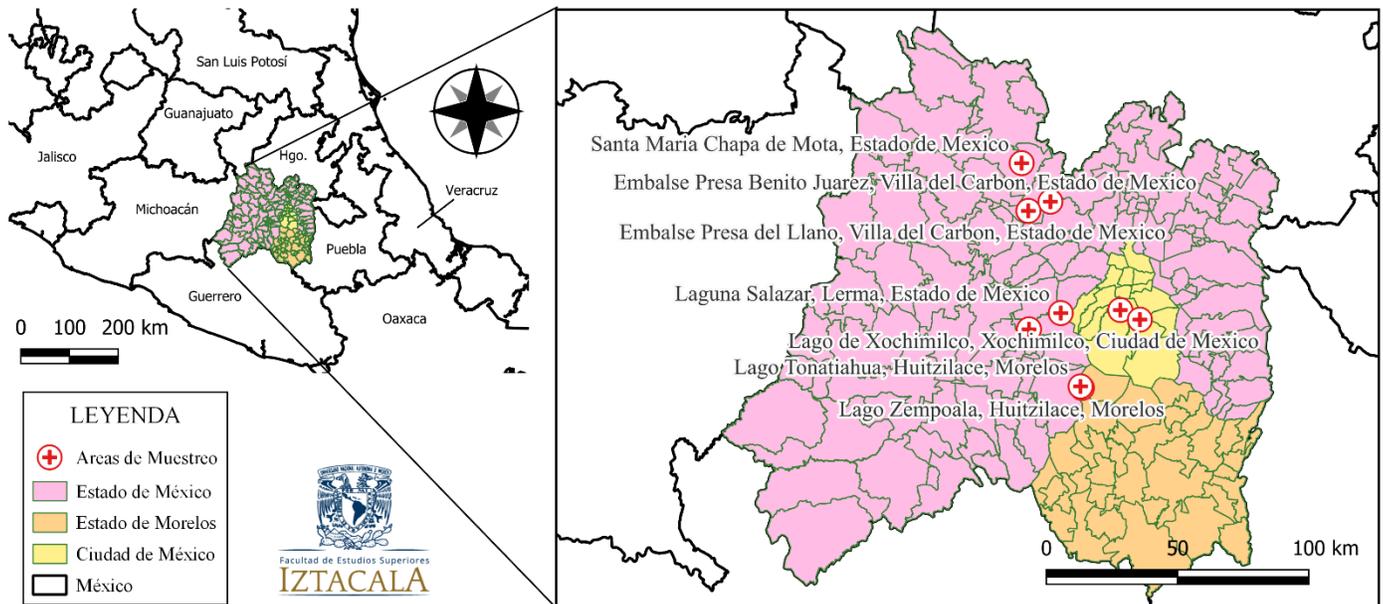


Figura 2. Diferentes sitios de muestreo en los Estados de México, Morelos y la Ciudad de México.

Material y métodos

Revisión Bibliográfica. Se realizó una investigación teórico-descriptiva de tipo documental acerca de los registros de especies pertenecientes al género *Simocephalus* en México, en un periodo comprendido desde el año 2006 hasta la fecha, pues de este año datan los registros documentados por Elías-Gutiérrez *et al.* (2008a). Las unidades de análisis fueron todos aquellos documentos que incorporaron información acerca de especies de *Simocephalus* dulceacuícolas encontrados en los cuerpos de agua epicontinentales de México. Para esto, se utilizaron las bases de datos *Web Of Science biological abstracts*, *Google académico*, *Science Direct* y *BOLD Systems*; como criterios de búsqueda se incluyeron las palabras clave: “Cladocera”, “Anomopoda”, “México”, “Zooplankton”, “*Simocephalus*” y “Freshwater”. Estos descriptores fueron combinados de diversas formas al momento de la exploración, con el objetivo de ampliar los criterios de búsqueda. Con los datos obtenidos se elaboraron diferentes gráficas y una tabla donde se refirieron a las especies, los estados donde fueron recolectados y sus referencias.

Muestreo. La recolección de muestras se realizó a través de la filtración de 60 L de agua empleando un recipiente graduado de 10 L de capacidad con una red para zooplancton de 50 μ m. El muestro se efectuó en la zona litoral de los cuerpos de agua, así como en sitios

con presencia de vegetación sumergida, pues Orlova-Bienkowskja (2001) menciona que en estas zonas *Simocephalus* es abundante. En cada cuerpo de agua, se tomó una muestra viva con ayuda de una red de cuchara para el establecimiento de cultivos en el laboratorio, mientras que las demás muestras se tamizaron y lavaron con agua destilada para posteriormente ser fijadas con formaldehído al 4% y ser transportadas en hielo (Wetzel y Likens, 2000) al laboratorio de Limnología Tropical en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, donde se revisaron al microscopio.

Análisis fisicoquímicos. Para cada sitio de muestreo se establecieron las coordenadas geográficas con ayuda de un GPS Garmin GPSMAP 78S, así como la transparencia con un disco de Secchi. Por otra parte, se determinaron algunas características fisicoquímicas de los cuerpos de agua como lo fue temperatura (°C), oxígeno disuelto (% OD, mg/L), conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y pH, estas variables fueron determinadas empleando un multisensor YSI-85 y un potenciómetro PC-180. Asimismo, se tomaron muestras de agua en frascos oscuros de 500 mL para la determinación de dureza y alcalinidad por métodos complejométricos; la clorofila *a* se midió en el laboratorio con un fluorómetro Turner designs modelo 10AU, mientras que para la determinación de fósforo (P) y nitrógeno (N) totales se realizó el método de digestión química en condiciones básicas propuesto por Valderrama (1981), el cual se realizó a través de una digestión previa de las muestras puestas a la autoclave. El P total se midió como P-PO_4^{+3} por el método del ácido ascórbico, mientras que el N total se midió en forma de nitrato (N-NO_3^{-1}) por el método de reducción con cadmio (APHA, 2012; HACH, 2012). Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para visualizar la relación entre las variables fisicoquímicas y los diferentes sitios de muestreo, con el fin de encontrar correlaciones entre las variables.

Cultivo de *Simocephalus*. Para el establecimiento de cultivos, se tomó al menos una hembra partenogenética aislada de las poblaciones obtenidas del campo. Para esto, las hembras fueron colocadas en recipientes de vidrio de 1.5 litros de capacidad, los cuales fueron llenados con 1 litro de medio EPA (Weber, 1993). Los organismos se mantuvieron en condiciones controladas de fotoperiodo (12:12) y temperatura (22 °C), y se alimentaron 2 veces por semana con un cultivo monoespecífico del alga *Scenedesmus acutus* a 3×10^6 cels.ml⁻¹ (Juárez y Villagra-de-Gamundi, 2007).

Cultivo de *Scenedesmus acutus*. Se utilizó Medio Basal Bold, el cual fue preparado de acuerdo con la propuesta de Borowitzka y Borowitzka (1988). Se vaciaron 400 mL de este medio en botellas de vidrio de 500 mL, para así agregar 1×10^6 cels.ml⁻¹ de *Scenedesmus acutus*. Los cultivos se mantuvieron con luz y aireación constante. Después de 7 días las algas se cosecharon y se decantaron para su concentración y almacenaje a 4 °C hasta su uso (Andersen, 2005).

Análisis morfológico e identificación de especies de *Simocephalus*. Con la ayuda de un microscopio Zeiss Axio Zoom V16 con cámara AxioCam ICc 5 se examinaron los diferentes caracteres morfológicos de importancia taxonómica para *Simocephalus*, como lo son las antenas, anténulas, el caparazón, las extremidades del tórax, el postabdomen y las garras postabdominales (Yoon y Won, 2000). Para la identificación taxonómica, se utilizaron claves especializadas en el género (Elías-Gutiérrez *et al.* 2008a; Orlova-Bienkowskja, 2001).

Descripción de *Simocephalus cf. punctatus macho*: Se indujo la aparición de machos de *Simocephalus* a través de promover una sobrepoblación en los cultivos, los cuales, aunque se mantuvieron a condiciones controladas de fotoperiodo y temperatura, se les dio poco alimento (1×10^6 cels.ml⁻¹). Ya apareciendo los machos, sólo los sexualmente maduros (1 semana de nacidos) fueron seleccionados para su descripción, donde se midieron parámetros como el largo, el margen de sus anténulas, el margen valvar dorsal y la garra postabdominal (Shi *et al.*, 2011).

Análisis de divergencia genética y construcción de filogenias. Para el análisis de la relación genética entre las poblaciones de *Simocephalus* con énfasis en *Simocephalus cf. punctatus* de la Cantera Oriente, se realizó el procedimiento descrito por Montero-Pau *et al.* 2008. Para la extracción del ADN, se utilizaron a los organismos completos vivos ya identificados y separados, donde se utilizó el método HotSHOT. Una vez realizada la extracción, se añadieron 3 µL de cada extracto a una mezcla de PCR (12.5 µL de Taq ADN Polimerasa RED (Ampliqon) y 7.5 µL de agua MiliQ), donde se amplificaron con los primers Folmer F-1490 y R-2198 con 1 µL de cada primer respectivamente. La reacción en el termociclador SelectCycler consistió en un ciclo inicial de 3 min a 94°C, seguido de 30 ciclos de 94°C /45s, 50°C /45 s, 72°C /1 min y una extensión final de 72°C /5 min. Los productos de PCR se visualizaron en un gel de agarosa al 1.5% bajo luz UV, tiñendo las muestras con

1 μ L de bromuro de etidio ($C_{21}H_{20}BrN_3$) y se fotografiaron con la ayuda de una cámara Kodak Gel Logic 100 Imaging System.

Los productos obtenidos de las PCR se secuenciaron en la Unidad de Síntesis y Secuenciación de DNA (USSDNA) del Instituto de Biotecnología de la UNAM, a través de la ayuda del responsable M. en C. Alejandro Monsalvo del laboratorio de Bioquímica Molecular en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Las secuencias se visualizaron y editaron utilizando los softwares Chromas v.2.6.6 y Geneious Prime 2022.2 para posteriormente medir las matrices de distancias genéticas y los árboles filogenéticos utilizando el software MEGA 11.0. Estos últimos se construyeron utilizando todas las secuencias de *Simocephalus* disponibles para México (**Anexo 4**) mediante el método de Neighbor-joining (NJ) basado en Kimura 2-parametros (K2P) con un test de Bootstrap de 10,000 réplicas (Felsenstein, 1985).

Resultados

Revisión Bibliográfica. Se encontraron un total de 41 documentos, sin embargo, los que cumplieron con la mención del género *Simocephalus* se limitó a 29. De estos, 21 archivos correspondieron a artículos científicos arbitrados, cinco a tesis, dos a resultados publicados en libros y finalmente uno correspondió a un informe por parte de la CONABIO (Figura 3). A través de esta revisión, se aumentó el número de especies pertenecientes al género *Simocephalus* de cuatro a ocho, mientras que el número de subespecies se mantuvo igual, además se sumó cuatro especies con la denominación “cf.” (Tabla 2).

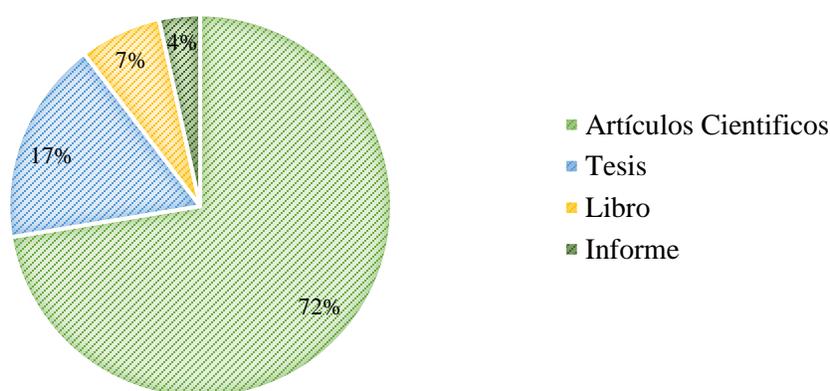


Figura 3. Tipo de documentos revisados (Artículos científicos, tesis, libros e informes) para la actualización del conocimiento del número de especies pertenecientes al género *Simocephalus* en México.

Tabla 2. Lista de especies pertenecientes al género *Simocephalus* registradas en la República Mexicana hasta el año 2021.

Subgénero	Especies	Distribución en México	Cita
	<i>Simocephalus</i> sp.	Sonora, Estado de México, Ciudad de México, Puebla	Villalobos <i>et al.</i> (2007); Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b); Núñez-Ortiz <i>et al.</i> (2021); BOLD systems.
<i>Simocephalus</i> s. str	<i>Simocephalus vetulus</i> (Schoedler, 1858)	Ciudad de México, Aguascalientes, Yucatán, Campeche, Veracruz y Estado de México	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2006); Caviedes-Solís (2007); Nandini <i>et al.</i> (2007a); Nandini <i>et al.</i> (2007b); Nandini <i>et al.</i> (2008); Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b); Enríquez-García <i>et al.</i> (2009); Espinosa-Rodríguez (2010); Lopes <i>et al.</i> (2011); Sarma <i>et al.</i> (2011); Chaparro-Herrera <i>et al.</i> (2013); Santos-Medrano <i>et al.</i> (2017); Araiza-Vázquez (2020); Figueroa-Sánchez <i>et al.</i> (2020).

	<i>Simocephalus vetulus elizabethae</i> (King, 1853)	Hidalgo, Ciudad de México	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2006).
	<i>Simocephalus mixtus</i> (Sars, 1903)	Quintana Roo, Morelos, Estado de México, Durango, Ciudad de México, Campeche y Tabasco	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2006b); Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b); Espinosa-Rodríguez <i>et al.</i> (2016); Figueroa-Sánchez <i>et al.</i> (2019); Pérez-Morales <i>et al.</i> (2020).
	<i>Simocephalus cf. mixtus</i>	Estado de México y Guerrero	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b).
	<i>Simocephalus punctatus</i> (Orlova-Bienkowskaja, 1998)	Coahuila, San Luis Potosí	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b), Vázquez-Hernández, (2016), Mendoza-Chávez (2016).
	<i>Simocephalus cf. punctatus</i>	Coahuila, Ciudad de México	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b), Presente estudio.
	<i>Simocephalus exspinosus</i> (Koch, 1841)	Estado de México, Aguascalientes y Guerrero	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2006); Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b); Espinosa-Rodríguez <i>et al.</i> (2016).
<i>Simocephalus (Echinocaudatus)</i>	<i>Simocephalus cf. exspinosus</i>	Sonora, Estado de México	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b), Presente estudio.
	<i>Simocephalus acutirostratus</i> (King, 1853)	Morelos	Elías-Gutiérrez (2006).
	<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)	Estado de México, Tlaxcala, Yucatán, Hidalgo, Campeche, Tabasco, Aguascalientes, Quintana Roo, Nuevo León y Sonora	Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2006b); Elías-Gutiérrez <i>et al.</i> (2008b); Espinosa-Rodríguez <i>et al.</i> (2016); Rivera-De la Parra <i>et al.</i> (2016).
<i>Simocephalus (Coronocephalus)</i>	<i>Simocephalus cf. serralutus</i>	Quintana Roo	Valdez-Moreno <i>et al.</i> (2021).
	<i>Simocephalus semiserratus</i> (Sars, 1901)	Tabasco	Elías-Gutiérrez (2006).
<i>Simocephalus (Aquipiculus)</i>	<i>Simocephalus latirostris</i> (Stingelin, 1906)	Tabasco, Estado de México	Elías-Gutiérrez (2006); Muñoz-Colmenares <i>et al.</i> (2017).

El número de estados de la República Mexicana donde existen registros de este género aumentó de 8 a 18 (Figura 4a), lo que representa un 56% de las entidades del país (Figura 4b). Se encontró que el Estado de México es la entidad con más especies registradas (7), seguido por la CDMX (5) y el estado de Tabasco (4). Aunado a esto, la gráfica de acumulación de especies (Figura 5) muestra que el periodo correspondiente del año 2006 al

2008 fue cuando más registros se reportaron. Por su parte, en la acumulación de estudios (Figura 6) muestra claramente un uso o mención constante de este taxón en la literatura.

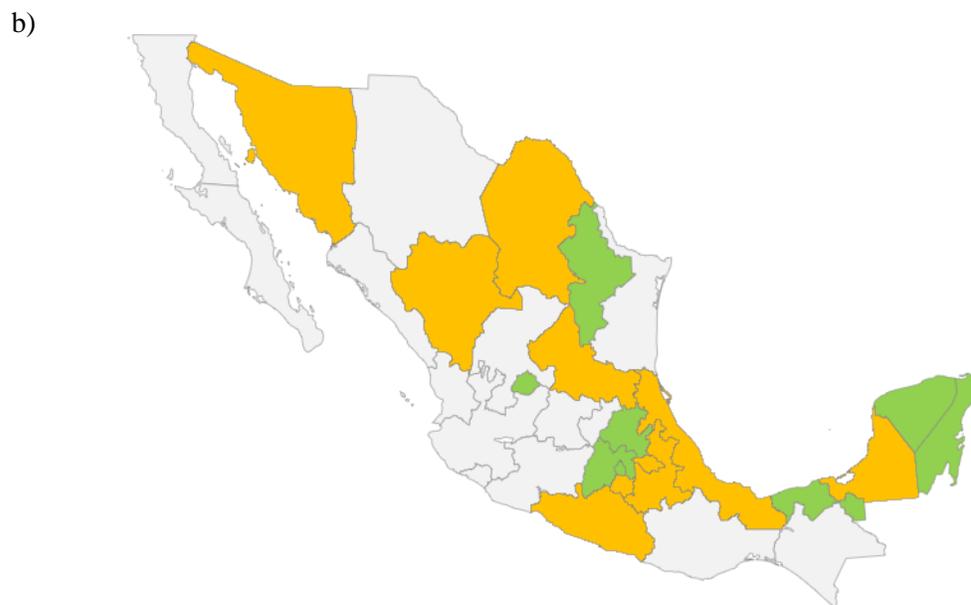
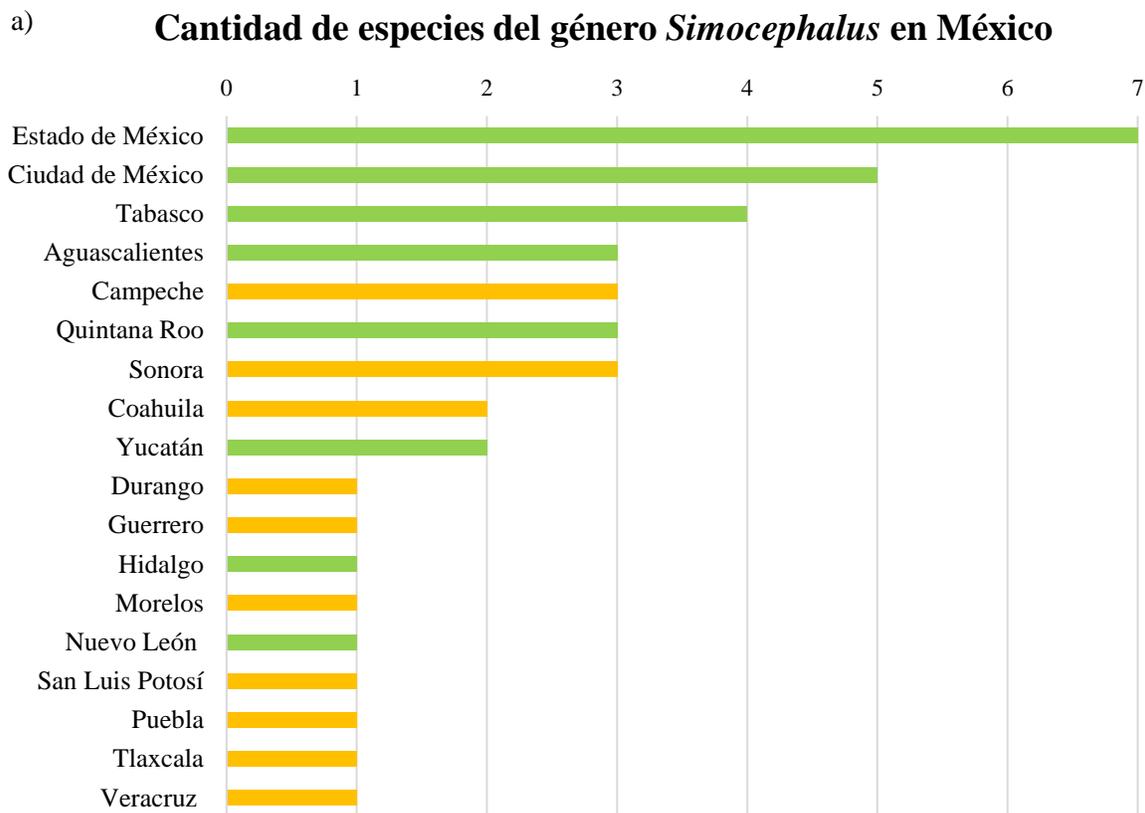


Figura 4. Registros de *Simocephalus* en México. a) Número de registros de especies por entidad federativa del país (color amarillo nuevos registros); b) Mapa de la presencia del género (color amarillo nuevos registros).

Curva de acumulación de especies de *Simocephalus*

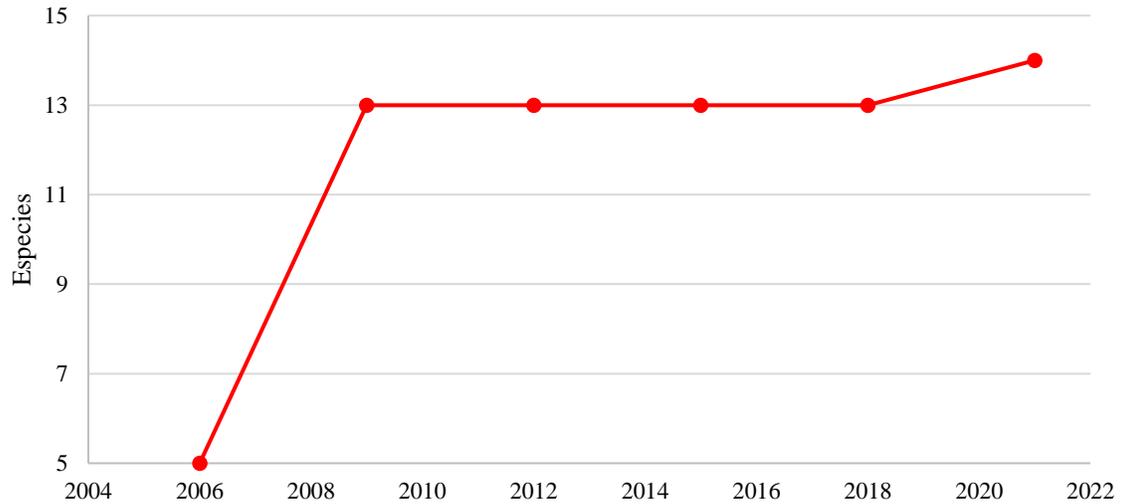


Figura 5. Gráfico de acumulación de especies pertenecientes al género *Simocephalus* en México.

Curva de acumulación de estudios acerca de *Simocephalus*

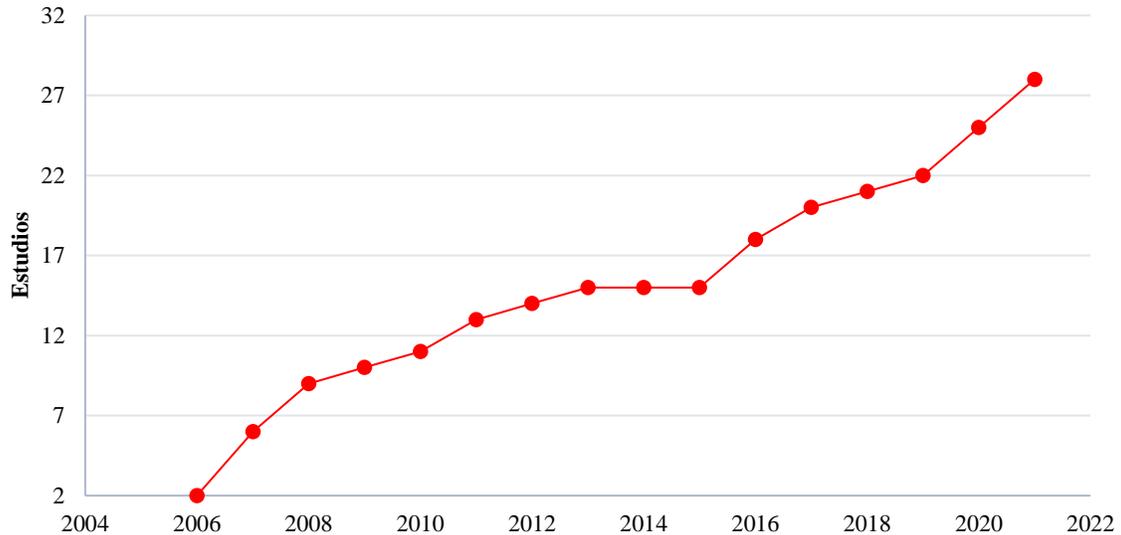


Figura 6. Gráfico de acumulación de estudios que mencionan y/o trabajan con el género *Simocephalus* en México.

A través de la búsqueda de información en la base de datos de BOLD Systems, se encontró que los datos subidos a esta plataforma solamente corresponden a un total de diez taxones, de los cuales varios no se encuentran bien determinados (44.82%), llegando solamente a nivel de género (Figura 7).



- *Simocephalus exspinosus*: 22.
- *Simocephalus sp.*: 20
- *Simocephalus cf. serrulatus*: 9
- *Simocephalus mixtus*: 9
- *Simocephalus punctatus*: 7
- *Simocephalus cf. serrulatus* (2): 5
- *Simocephalus serrulatus*: 4
- 3 otros: 8
- Desconocidos: 32

Figura 7. Número de secuencias COI para el género *Simocephalus* en México registrado en BOLD Systems.

En lo que respecta a distribución geográfica (Figura 8), los registros se concentran en mayor parte en la región central de México y algunos datos se encuentran dispersos a lo largo del país.

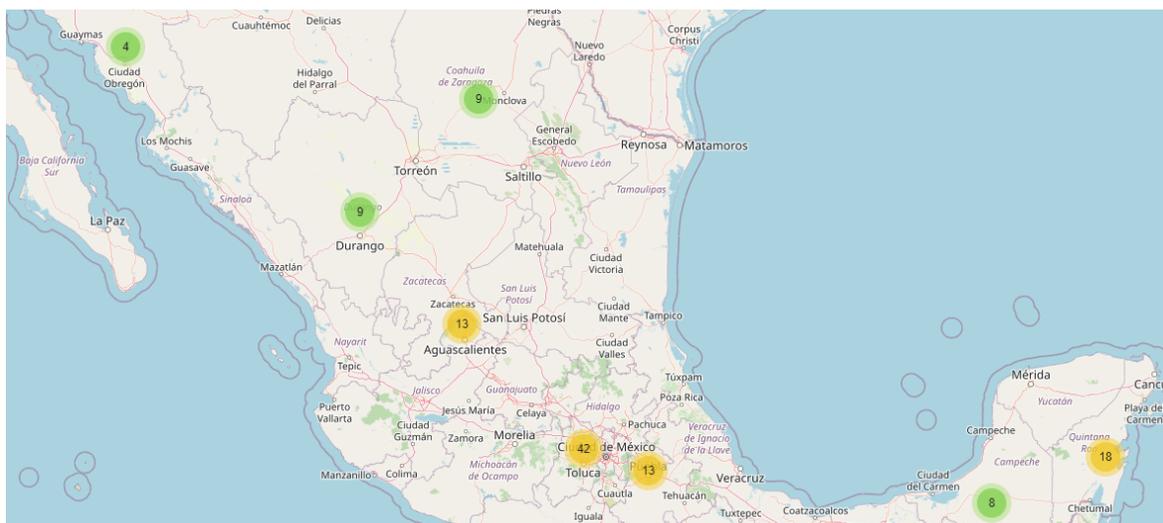


Figura 8. Distribución de los registros por BOLD Systems para el género *Simocephalus* en México.

Variabes ambientales. Los datos ambientales registrados en cada sitio de muestreo se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos ambientales obtenidos en las visitas para cada sitio de muestreo. **PBJ** = Presa Benito Juárez, **PLI** = Presa del Llano, **LZ**: Lago Zempoala, **LT**: Lago Tonatiahua, **CON**: Cantera Oriente Norte, **COC**: Cantera Oriente Centro, **ES**: Embalse Salazar, **LC**: Lago Chimaliapan, **ECM**: Estanque Chapa de Mota, **LX**: Lago Xochimilco (con color rojo se muestra aquellos sitios donde no se encontraron organismos del género *Simocephalus*).

Variables Ambientales	Sitios de Muestreo									
	1 PBJ	2 PLI	3 LZ	4 LT	5 CON	6 COC	6 ES	7 LC	8 ECM	9 LX
Temperatura (°C)	17.39	14.27	16.7	17.5	18.6	20.2	14.6	20.56	18.4	23.5
Conductividad ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	68.42	56.47	104.2	164.67	515	487	145.8	455.2	182.3	731.83
% de O ₂	73.14	83.88	74	63.3	107	200	41.2	12.4	70.53	118.61
OD ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6.96	8.56	7.16	6.9	11.04	18.3	12.28	1.08	6.3	10.04
pH	6.75	7.69	7.4	7.78	8.15	9.24	7.11	6.68	7.06	7.27
Profundidad (m)	-	3.47	3.22	-	0.70	0.75	-	1.88	-	0.19
Alcalinidad total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCO ₃)	27	28.6	25.6	51	85	84	52	151.6	36.6	153
Dureza total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCO ₃)	51.25	46.85	66.06	656.65	160	155	80.08	239.04	135.33	332.33
Nitrógeno total (mg.L ⁻¹ de N)	-	-	-	-	-	-	0.87	0.93	0.633	2.9
Fosforo total (mg.L ⁻¹ de P)	-	-	-	-	-	-	0.02	0.30	0.013	0.05
Chlo <i>a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.54	3.21	3.03	054	57	113	0.39	1.13	-	0.2

De acuerdo con el análisis de componentes principales (PCA) (con valor de ejes $x = 68.9\%$; $y = 19.1\%$) (Figura 9), se muestra una tendencia de las variables fisicoquímicas a agruparse en dos diferentes vertientes, una conformada por la alcalinidad ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$), conductividad ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$); y la otra por el pH, la dureza ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$), y el oxígeno-disuelto (mg.L^{-1}), donde únicamente los lagos de la Cantera Oriente se mostraron con una correlación muy cercana con la segundo vertiente de datos. Se muestran además tres agrupaciones de los sitios de muestreo, siendo Benito Juárez (PBJ), Zempoala (LZ), Salazar (LS), Chapa de Mota (CM) y Presa del Llano (PLI) el primero; Xochimilco (LX), Chimaliapan (LC) y Tonatiagua (LT) el segundo y por último los lagos de la Cantera (CON y COC).

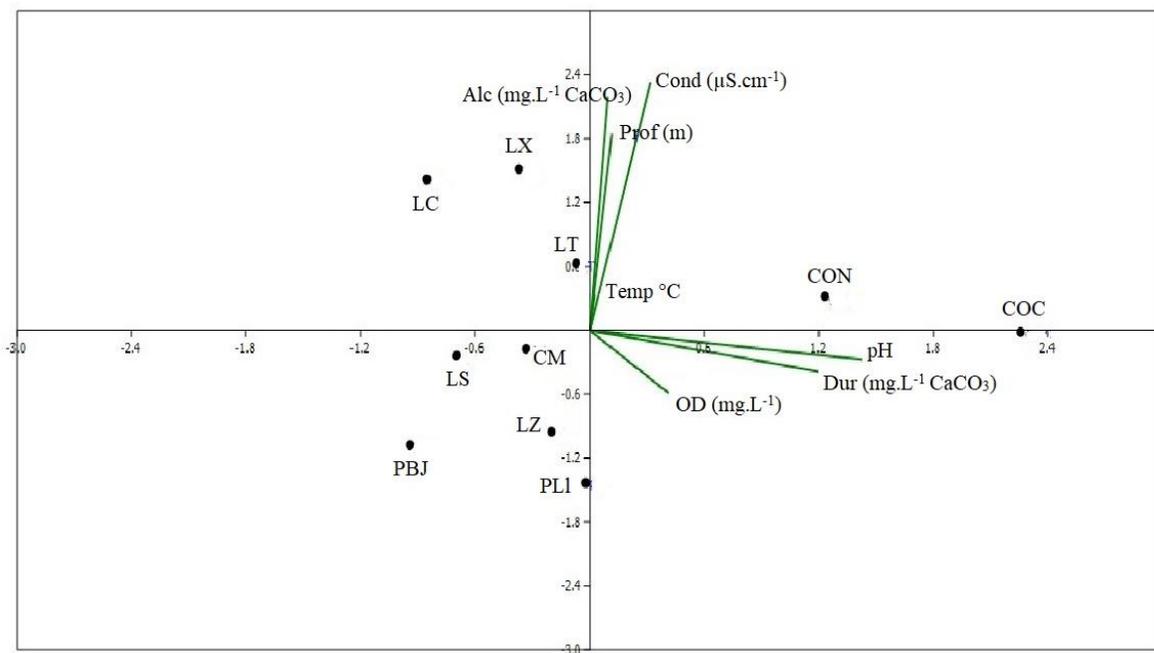


Figura 9. Análisis de componentes principales (PCA) para las variables físicas y químicas medidas (Valor de ejes $x = 68.9\%$; $y = 19.1\%$).

Análisis morfológico e identificación de especies de *Simocephalus*. De acuerdo con la identificación morfológica de las poblaciones aisladas, se encontró un total de cuatro especies de *Simocephalus* (Tabla 4), de las cuales la mayoría de ellas se mantuvieron en estatus de “cf.” pues de acuerdo con las claves utilizadas para su identificación, algunos caracteres no concordaron en su totalidad. *Simocephalus* cf. *mixtus*, *Simocephalus* cf. *exspinosus* y *Simocephalus* cf. *punctatus* fueron las especies que mayor abundancia presentaron, encontrándose en tres y dos sitios respectivamente. En contra parte *Simocephalus serrulatus* únicamente se encontró en Presa del Llano. Las imágenes correspondientes a cada población se presentan de la figura 10 a la 23.

Tabla 4. Listado de especies de *Simocephalus* identificados morfológicamente.

Subgénero	Especies	Sitio
<i>Simocephalus</i> s. str.	<i>Simocephalus</i> cf. <i>mixtus</i>	Laguna Salazar, Chapa de Mota, Lago Xochimilco
	<i>Simocephalus</i> cf. <i>punctatus</i>	Cantera Oriente (Lago Norte y Centro)
<i>Simocephalus</i> (<i>Echinocaudatus</i>)	<i>Simocephalus</i> cf. <i>exspinosus</i>	Laguna Chimaliapan, Laguna Salazar
<i>Simocephalus</i> (<i>Coronocephalus</i>)	<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)	Presa del Llano

Cantera Oriente (Lago Norte y Centro), Coyoacán, Ciudad de México = *Simocephalus* cf. *punctatus*



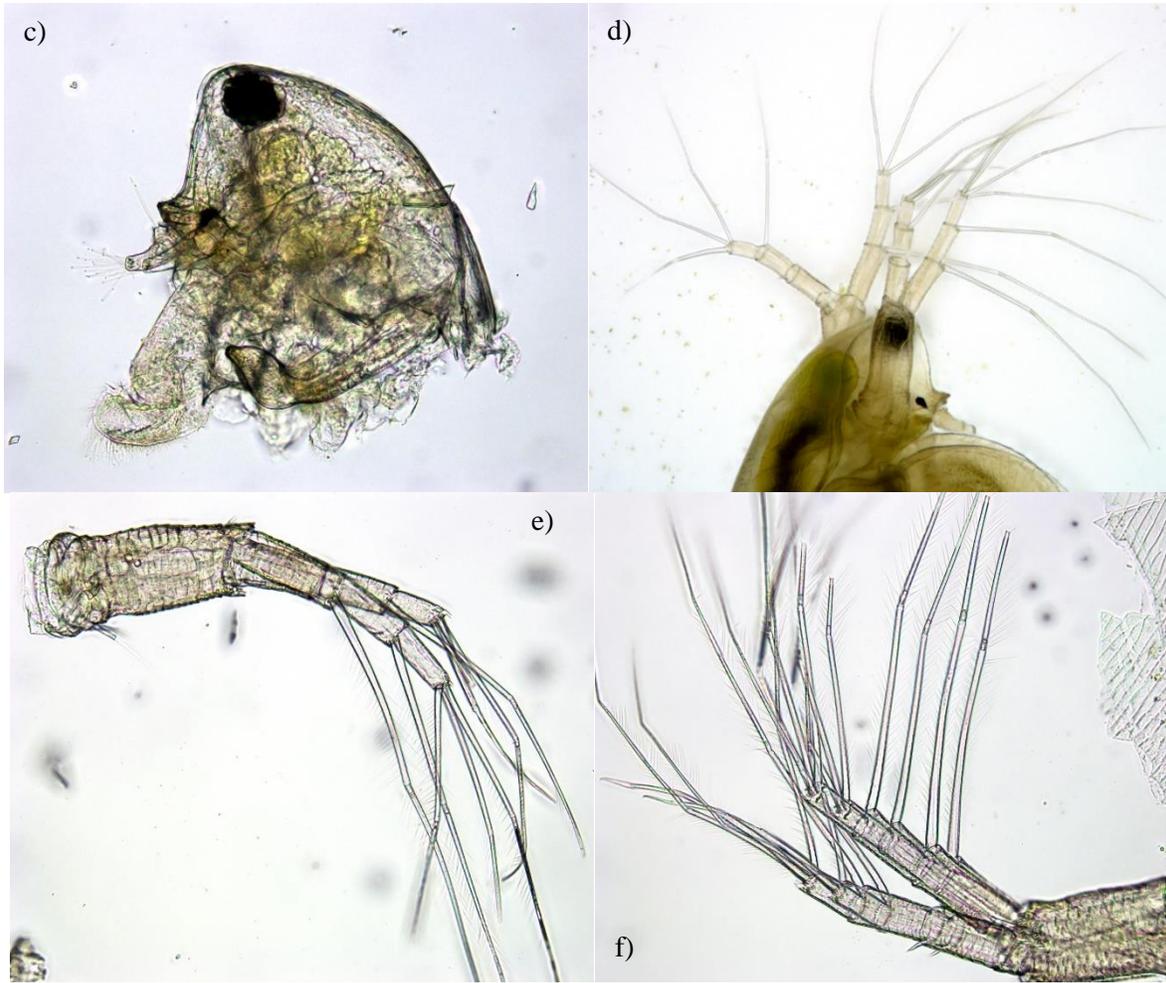
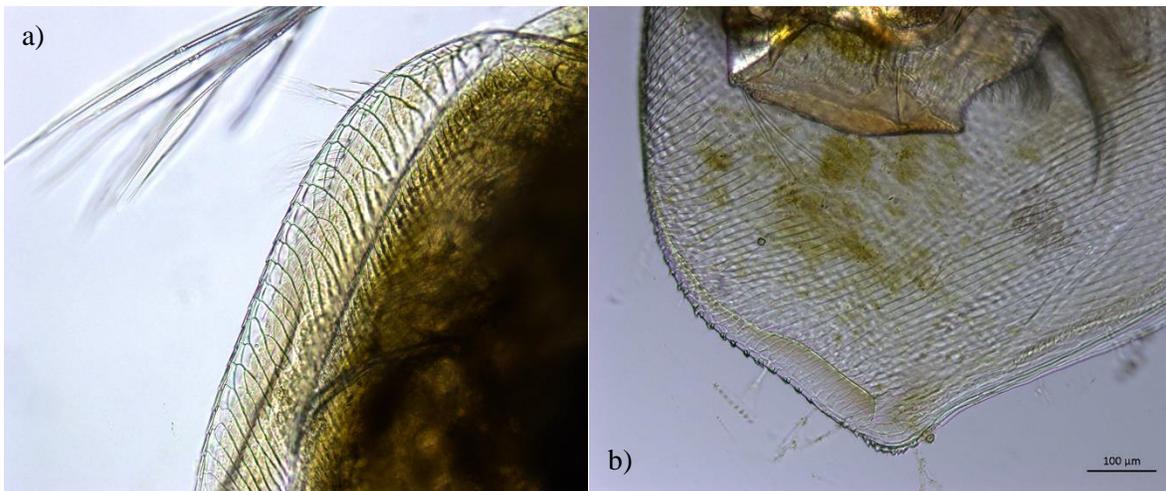


Figura 10. *Simocephalus* cf. *punctatus*. a) Hábito de hembra partenogenética con huevos partenogenéticos; b) región posterior de una hembra con epipio; c) acercamiento de la región cefálica, detalle de su forma, ojo, ocelo y anténulas; d) cabeza con la presencia de antenas, anténulas y ocelo; e) y f) detalle de las antenas.



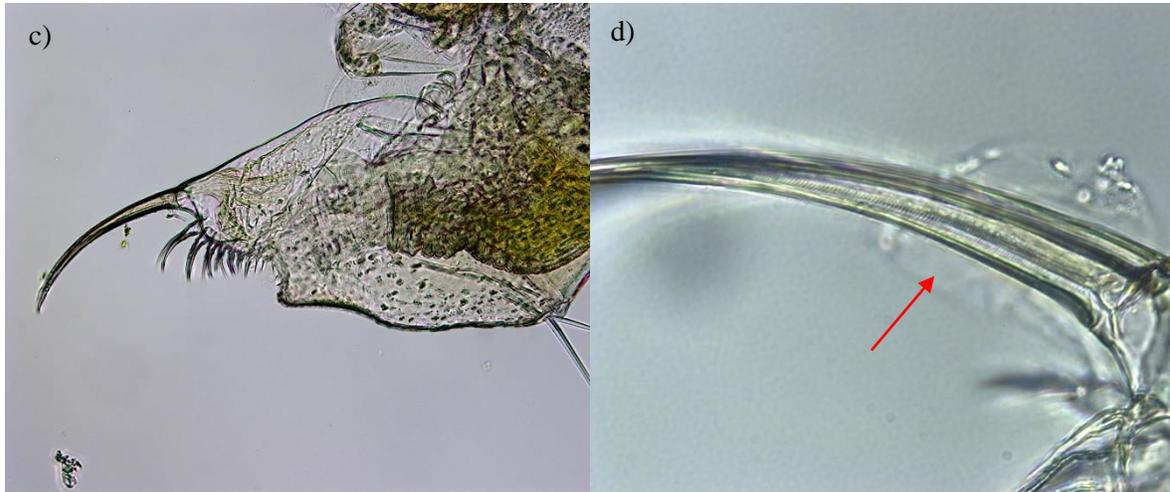


Figura 11. *Simocephalus cf. punctatus*. a) Margen anteroventral valvar; b) margen del ángulo dorso-posterior y túbulo; c) detalle post-abdominal; d) detalle de la garra post-abdominal a un aumento de 400x.

Santa María Chapa de Mota, Estado de México = *Simocephalus cf. mixtus*

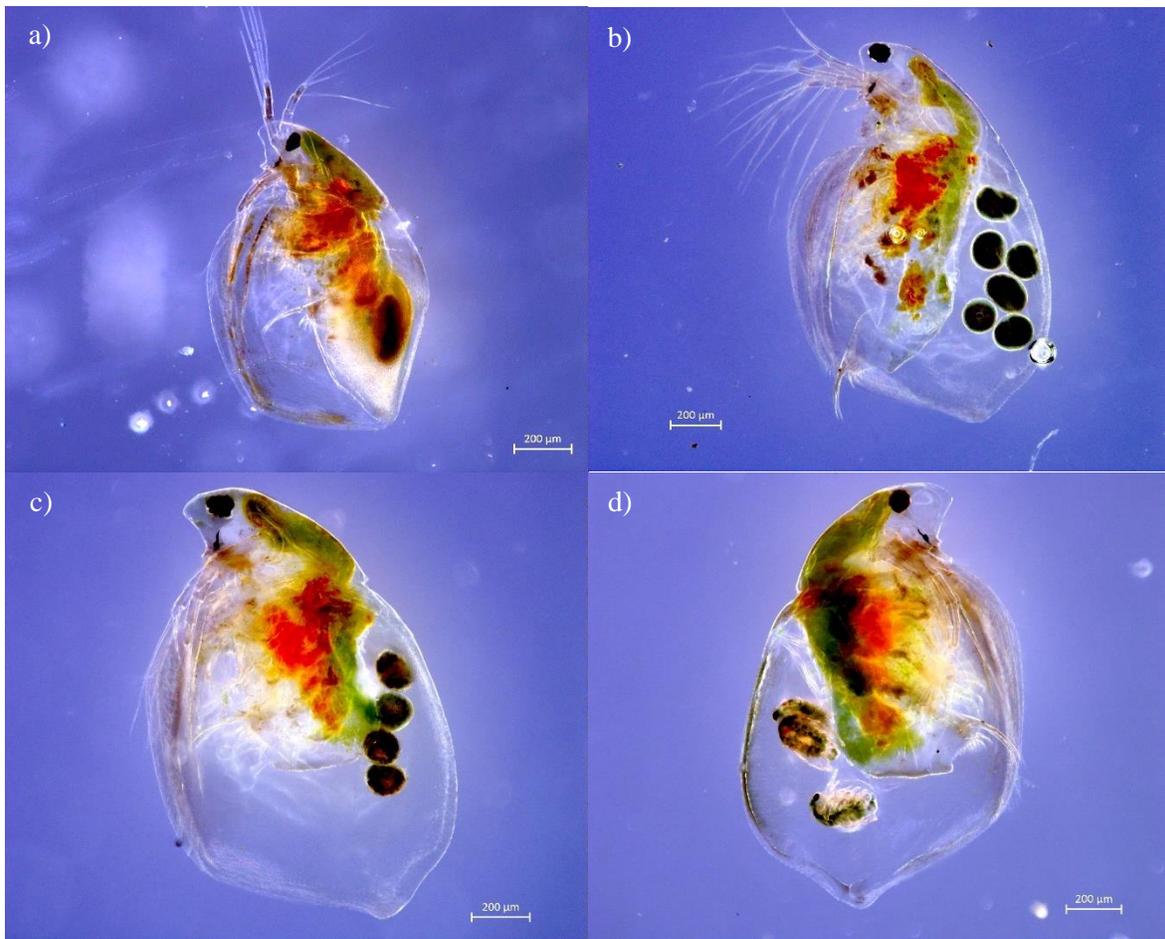


Figura 12. *Simocephalus cf. mixtus*. a) Hembra con efipio; b) y c) hembras con huevos partenogénicos; d) hembra con presencia de crías.

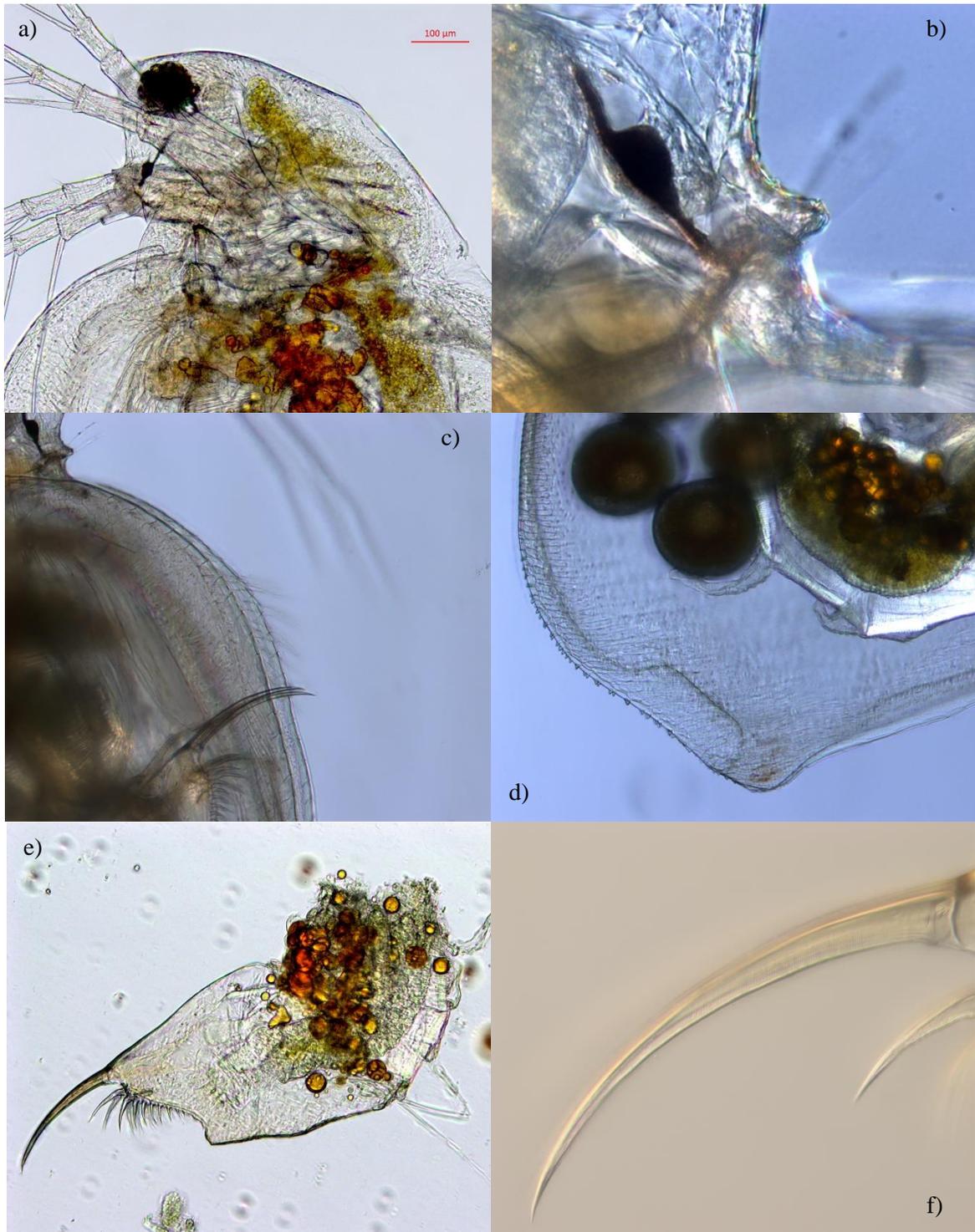


Figura 13. *Simocephalus cf. mixtus*. a) detalle de la región cefálica; b) Ocelo, y anténula; c) margen anteroventral valvar; d) margen del ángulo dorso-posterior y túmulo; e) post-abdomen; f) detalle de la garra post-abdominal a un aumento de 400x.

Laguna Salazar, Lerma, Estado de México = Complejo de especies (*Simocephalus* cf. *mixtus* y *Simocephalus* cf. *exspinosus*)

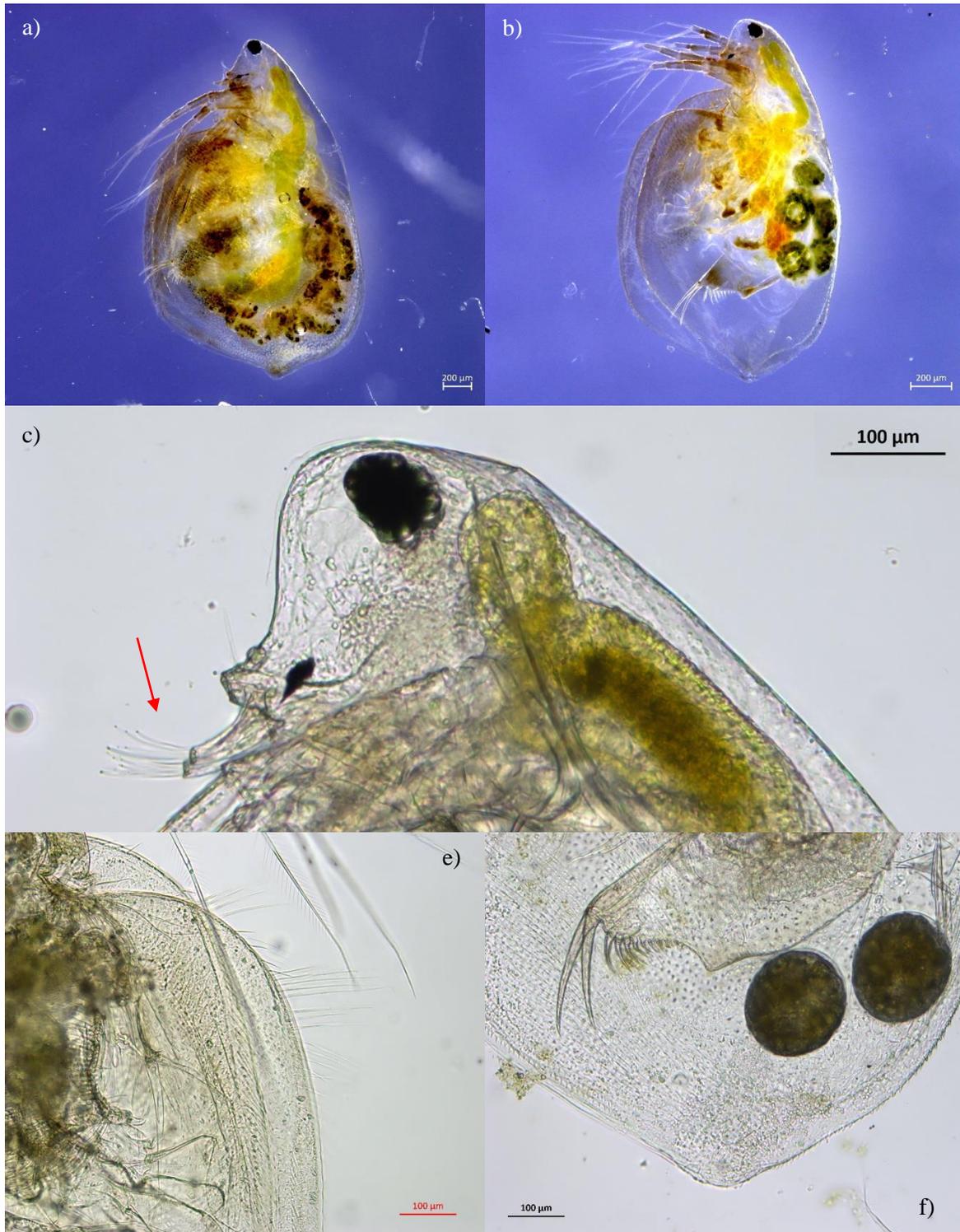


Figura 14. *Simocephalus* cf. *mixtus*. a) y b) hábitos de hembras partenogenéticas; c) detalle de la región cefálica, ojo, ocelo y anténulas; e) margen anteroventral valvar; f) margen del ángulo dorso-posterior y túmulo.

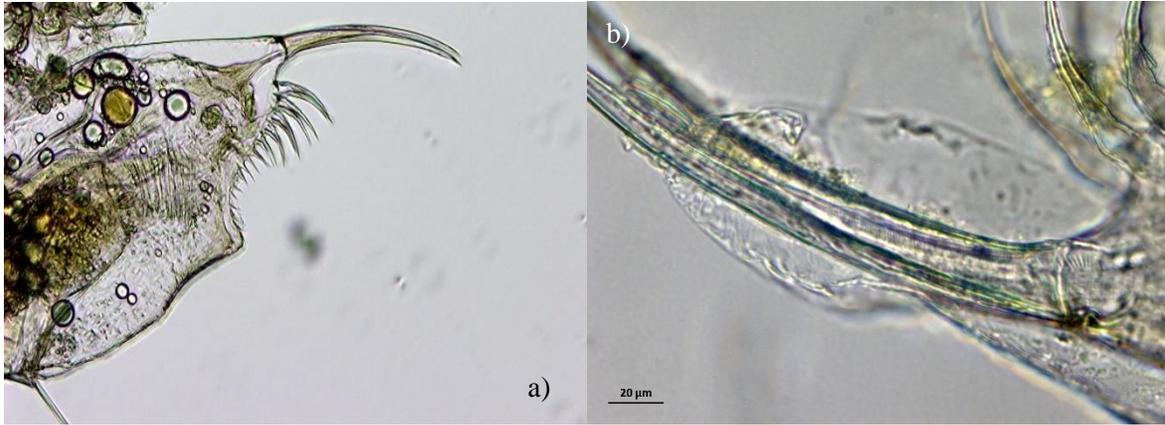


Figura 15. *Simocephalus* cf. *mixtus*. a) post-abdomen; b) detalle de la garra post-abdominal a un aumento de 400x.



Figura 16. *Simocephalus* cf. *exspinosus*. a) hembra con la presencia de crías; b) con huevos partenogénéticos; c) detalle de la cabeza.



Figura 17. *Simocephalus* cf. *exspinosus*. a) margen anteroventral valvar; b) margen del ángulo dorso-posterior y túbulo.

Laguna Chimaliapan, San Mateo Atenco = *Simocephalus* cf. *exspinosus*

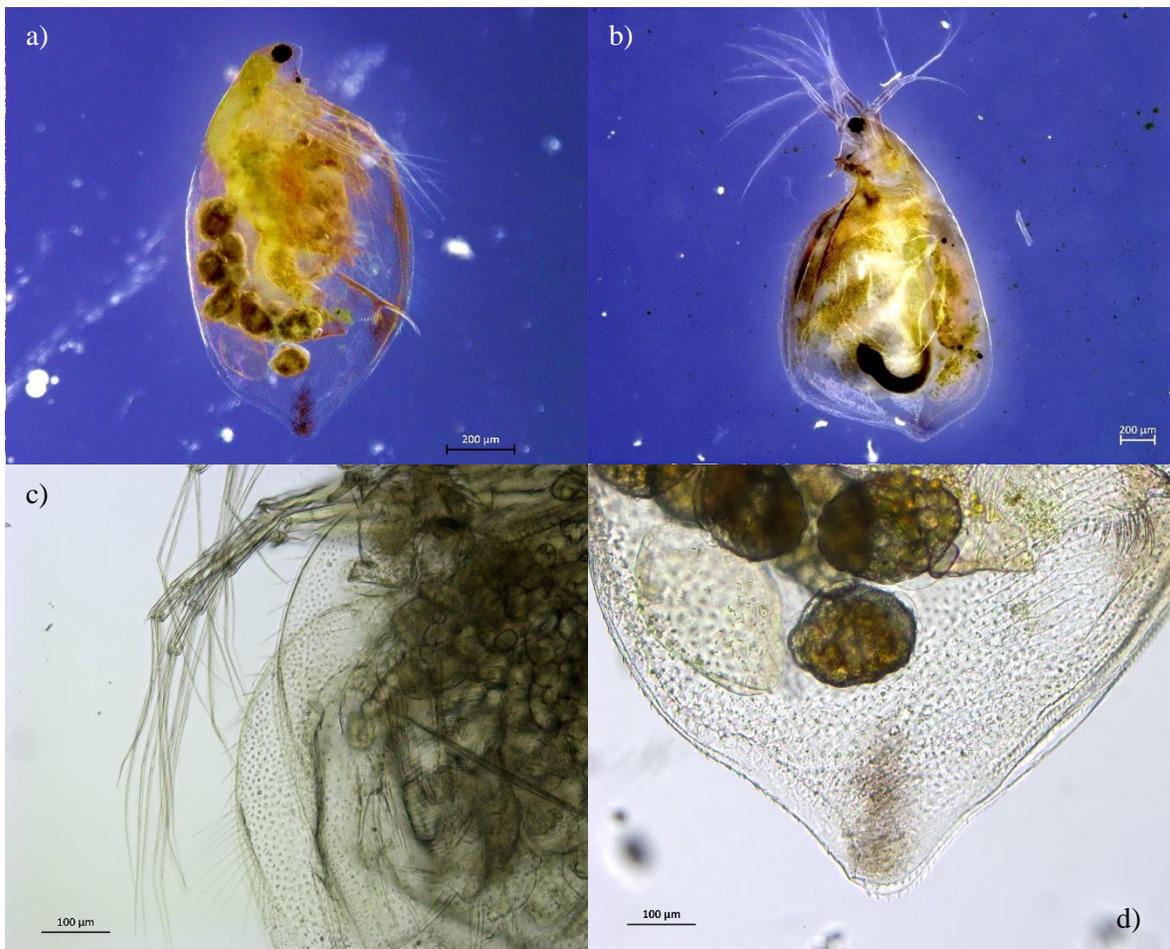


Figura 18. *Simocephalus* cf. *exspinosus*. a) Hábito; b) hábito con presencia de huevos partenogénéticos; c) margen anteroventral valvar; d) margen del ángulo dorso-posterior y túbulo.

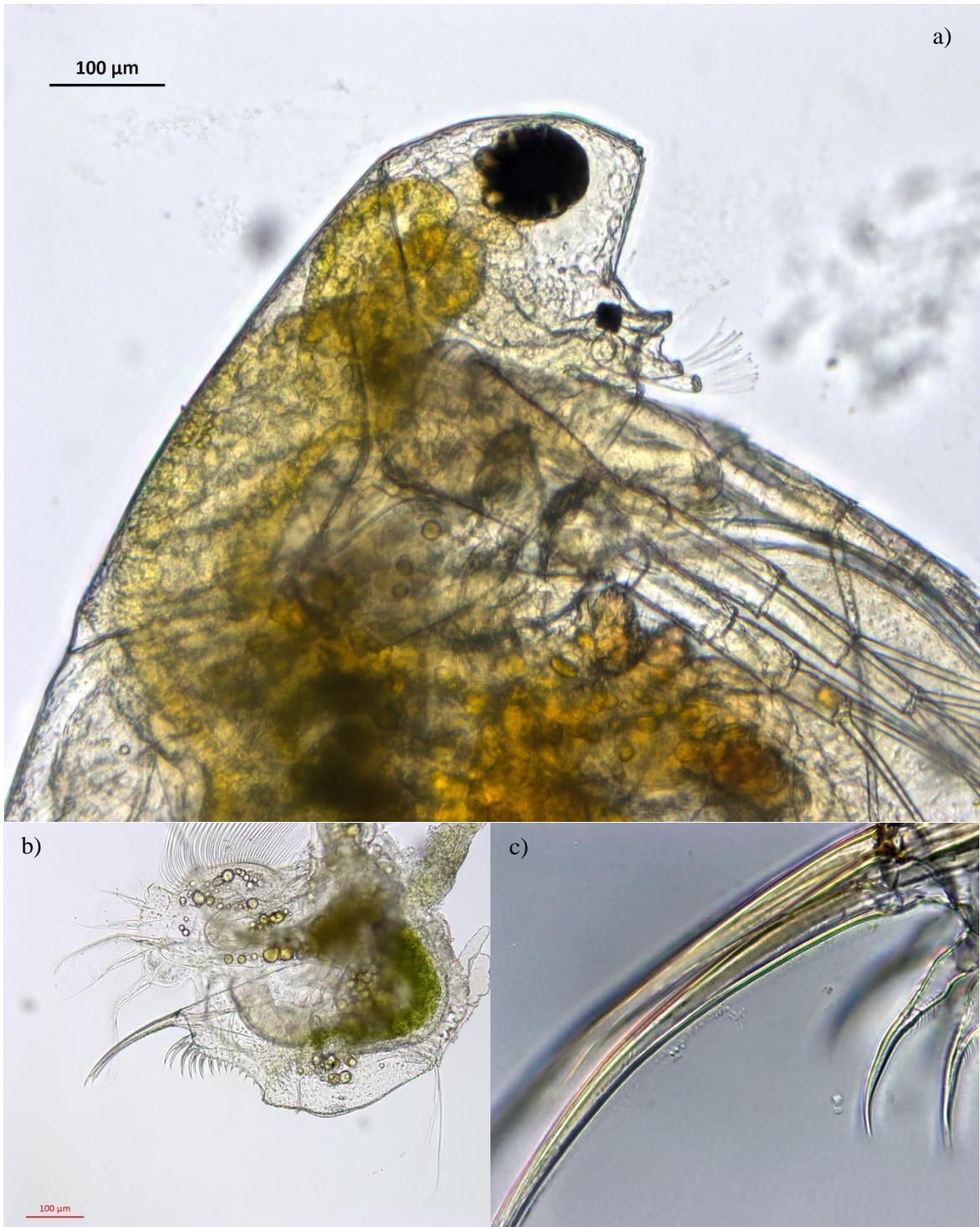


Figura 19. *Simocephalus cf. exspinosus*. a) Región cefálica; b) detalle post-abdominal; c) detalle de la garra postabdominal con un objetivo de 400x.

Presa del Llano, Villa del Carbón, Estado de México = *Simocephalus serrulatus*

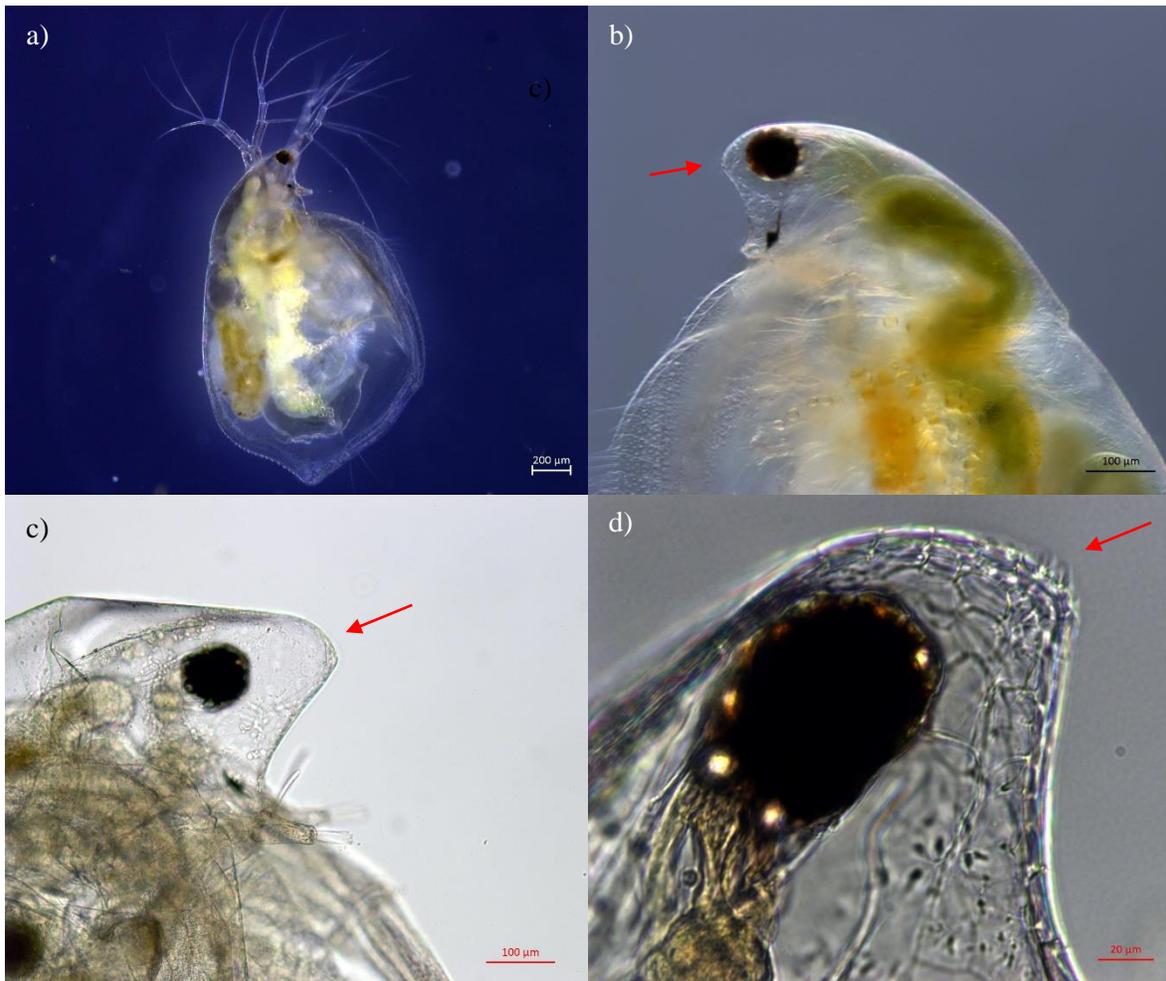
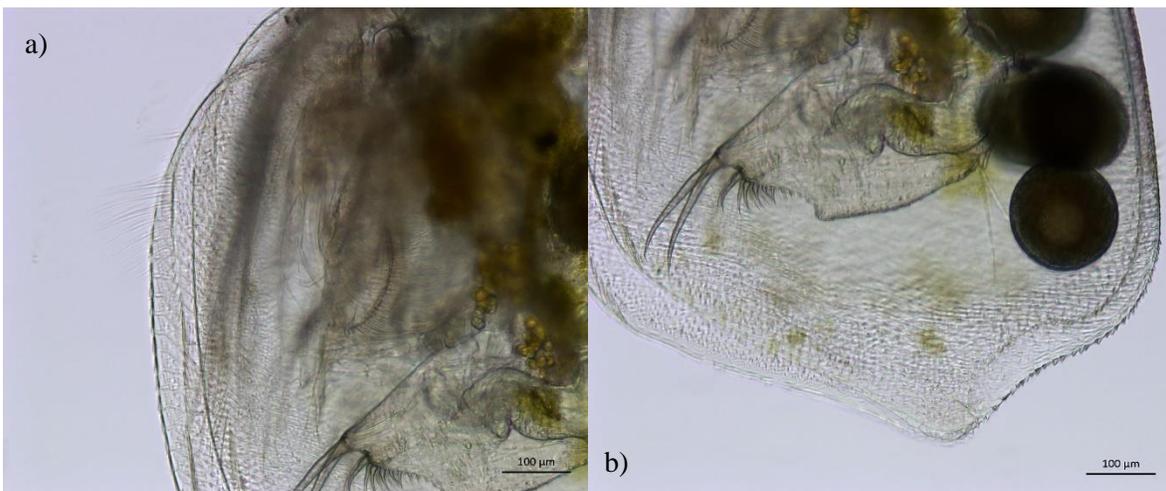


Figura 20. *Simocephalus serrulatus*. a) Hábito de hembra partenogenética; b) y c) cefálica, ojo y ocelo; d) detalle de la corona.



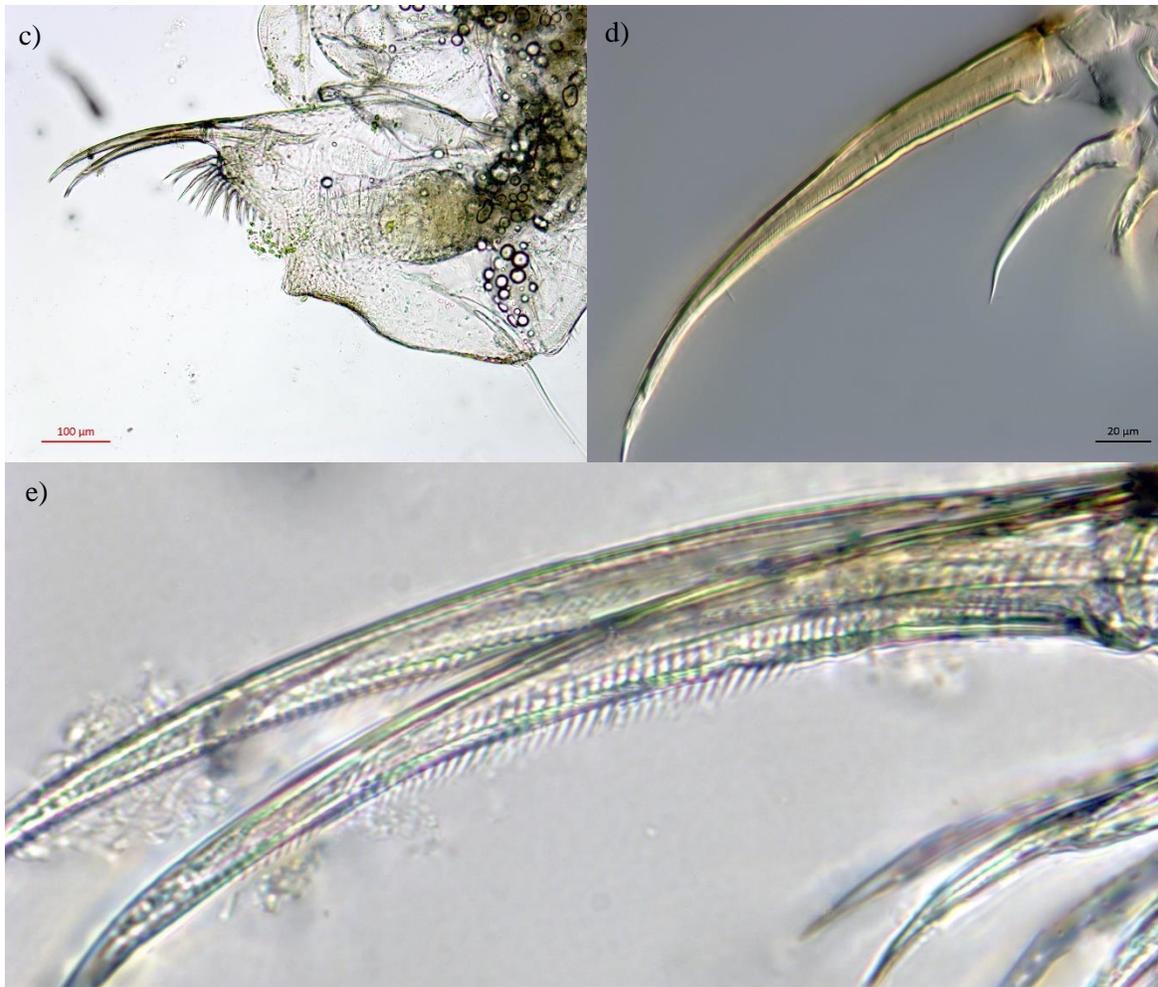


Figura 21. *Simocephalus serrulatus*. a) Margen anteroventral valvar; b) margen del ángulo dorso-posterior, .c) post-abdomen d) garra post-abdominal y e) detalle de la garra post-abdominal a un aumento de 400x.

Lago de Xochimilco, Ciudad de México = *Simocephalus cf. mixtus*



Figura 22. *Simocephalus cf. mixtus*. a) Hábito de hembra partenogénica; b) región cefálica, ojo y ocelo.



Figura 23. *Simocephalus* cf. *mixtus*. a) Margen del ángulo ventral valvar; b) margen del ángulo dorso-posterior; c) detalle post-abdominal; d) detalle de la garra postabdominal con un objetivo de 400x.

Descripción de *Simocephalus* cf. *punctatus* macho. Los machos de *Simocephalus* cf. *punctatus* presentaron una longitud del cuerpo de 0.9 a 1.1 mm; algunos caracteres a destacar son: cabeza pequeña y redondeada, lisa de la parte frontal, con un ocelo en forma de punto elongado de 30 a 35 µm de diámetro y la presencia de una joroba en la parte terminal del escudo cefálico. Anténulas de 70 a 85 µm de largo, con la presencia de dos papilas sensoriales en posición proximal (60 µm de largo) y 9 estetascos. Margen dorsal valvar liso, con la presencia de denticúlos únicamente en la región terminal del mismo. Postabdomen corto, con un ángulo supra anal ligeramente curvado hacia fuera; presencia de cinco dientes anales, una garra postabdominal sin pectenes diferenciados y dos setas natatorias poco desarrolladas con una longitud de 160 a 170 µm.



Figura 24. *Simocephalus* cf. *punctatus* macho. a) y b) Hábitos de machos sexualmente maduros; c) región cefálica y detalle de las antenas; d) perfil derecho con énfasis en las antenas, ojo y ocelo; e) detalle de la anténula a 400x (papilas sensoriales señaladas), y f) detalle de la antena.



Figura 25. *Simocephalus* cf. *punctatus* macho. a) Detalle del margen dorsal y cuerpo en general; b) acercamiento a 400x de la prominencia presente al término del escudo cefálico; c) detalle del margen valvar ventral-posterior, d) acercamiento del postabdomen con el señalamiento de las setas natatorias y e) detalle de los dientes anales y garra post-abdominal sin presencia de pectenes a 400x.

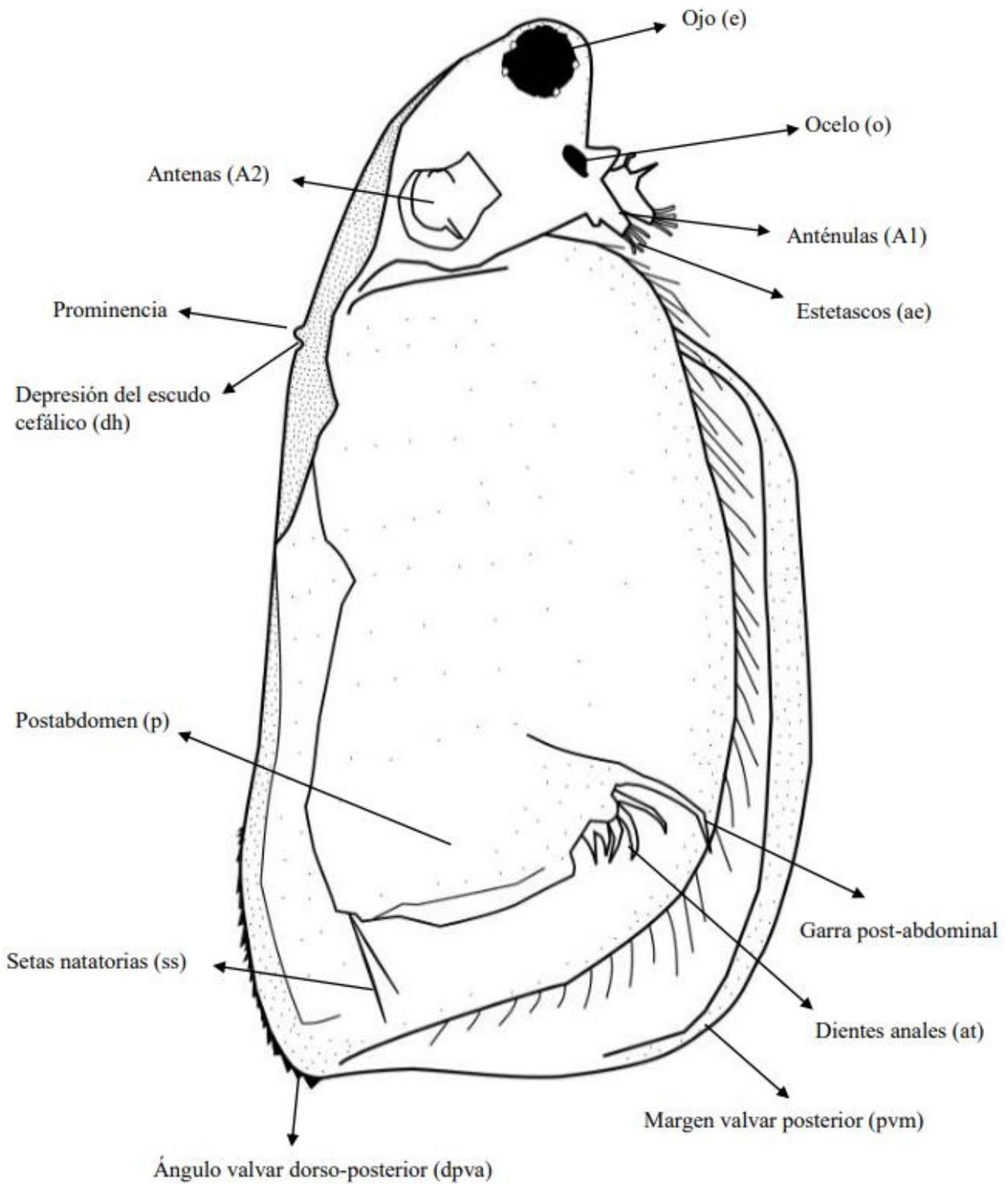


Figura 26. Esquema general del macho de *Simocephalus* cf. *punctatus* de la Cantera Oriente, CDMX.

Análisis de divergencia genética y construcción de filogenias. Se realizó un total de tres repeticiones por cada población obtenida de extracción y secuenciación de ADN de *Simocephalus*. Para esto, se realizó un ensayo preliminar de gradiente a diferentes temperaturas (58 a 64 °C) para determinar aquella temperatura óptima que diera mejores resultados al momento de la secuenciación, siendo 60 °C (Figura 27), la cual posteriormente se utilizó en las demás técnicas de PCR. De acuerdo con las electroforesis obtenidas, se notó la presencia del gen COI (648 pb) en cada una de las poblaciones de *Simocephalus* buscadas (Figura 28).

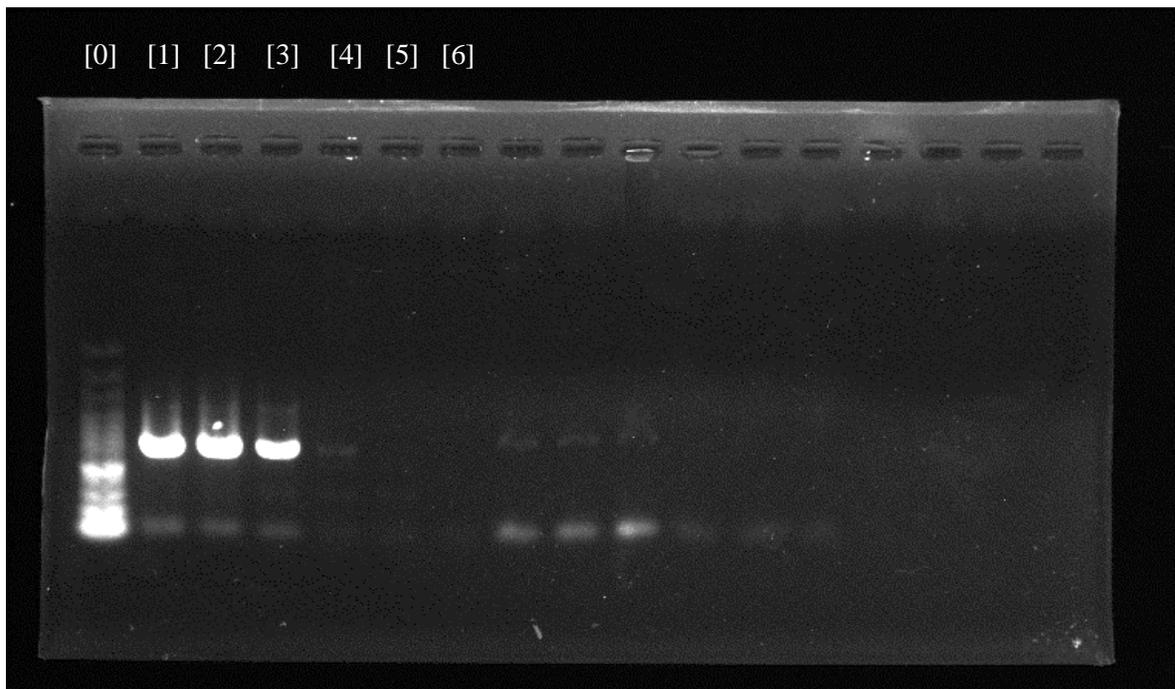
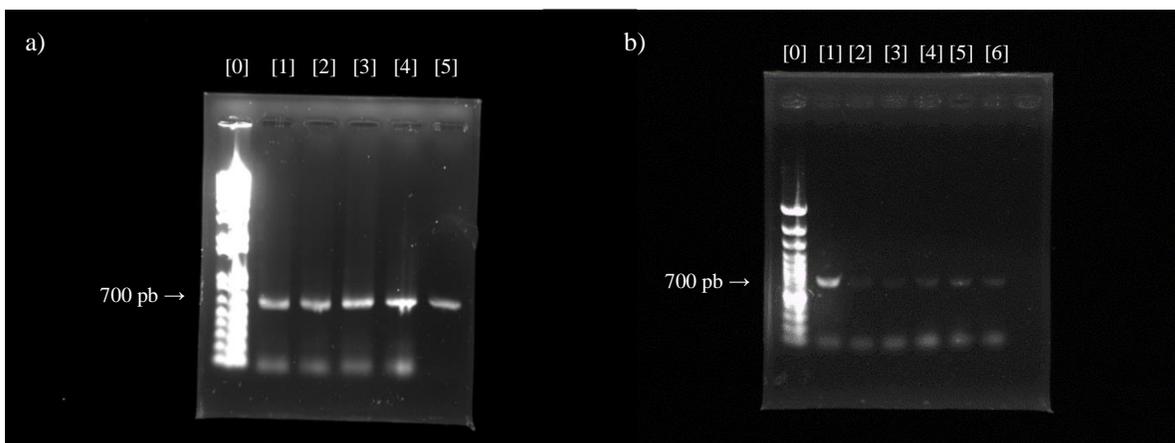


Figura 27. Productos de PCR para la determinación de la temperatura óptima a través de un gradiente de calor en el termociclador, se utilizó *Simocephalus serrulatus* como organismo prueba.



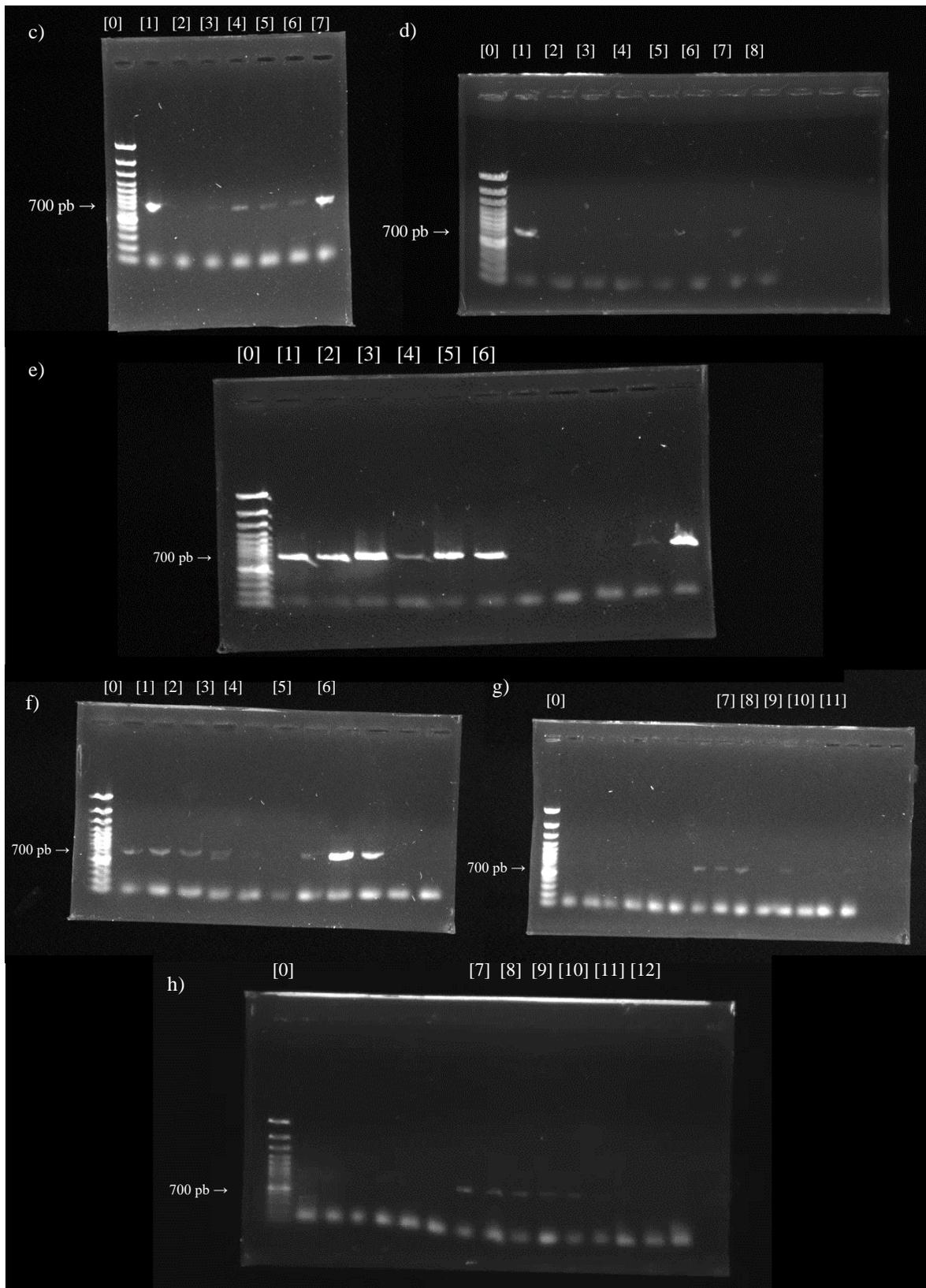


Figura 28. Productos de PCR de las diferentes series de extracciones de ADN para las especies de *Simocephalus* utilizando el método HotSHOT.

Se obtuvieron 16 secuencias de COI con una longitud de pares de base entre 586 a 879. Los árboles consenso de cada especie (Figuras 29-32), así como las matrices de distancias genéticas (Tablas 5-6) se realizaron por separado entre cada complejo de especies debido a la calidad del electroferogramas, ya que al realizar un árbol completo con todas las secuencias disponibles para BOLD Systems (Figura 33) no se muestra una concordancia entre la identificación morfológica fuera de *Simocephalus cf. exspinosus*. Por su parte, en cada uno de los árboles consenso se observó una diferenciación entre las poblaciones de distintas localidades del país, siendo estas las regiones norte, centro y suroeste.

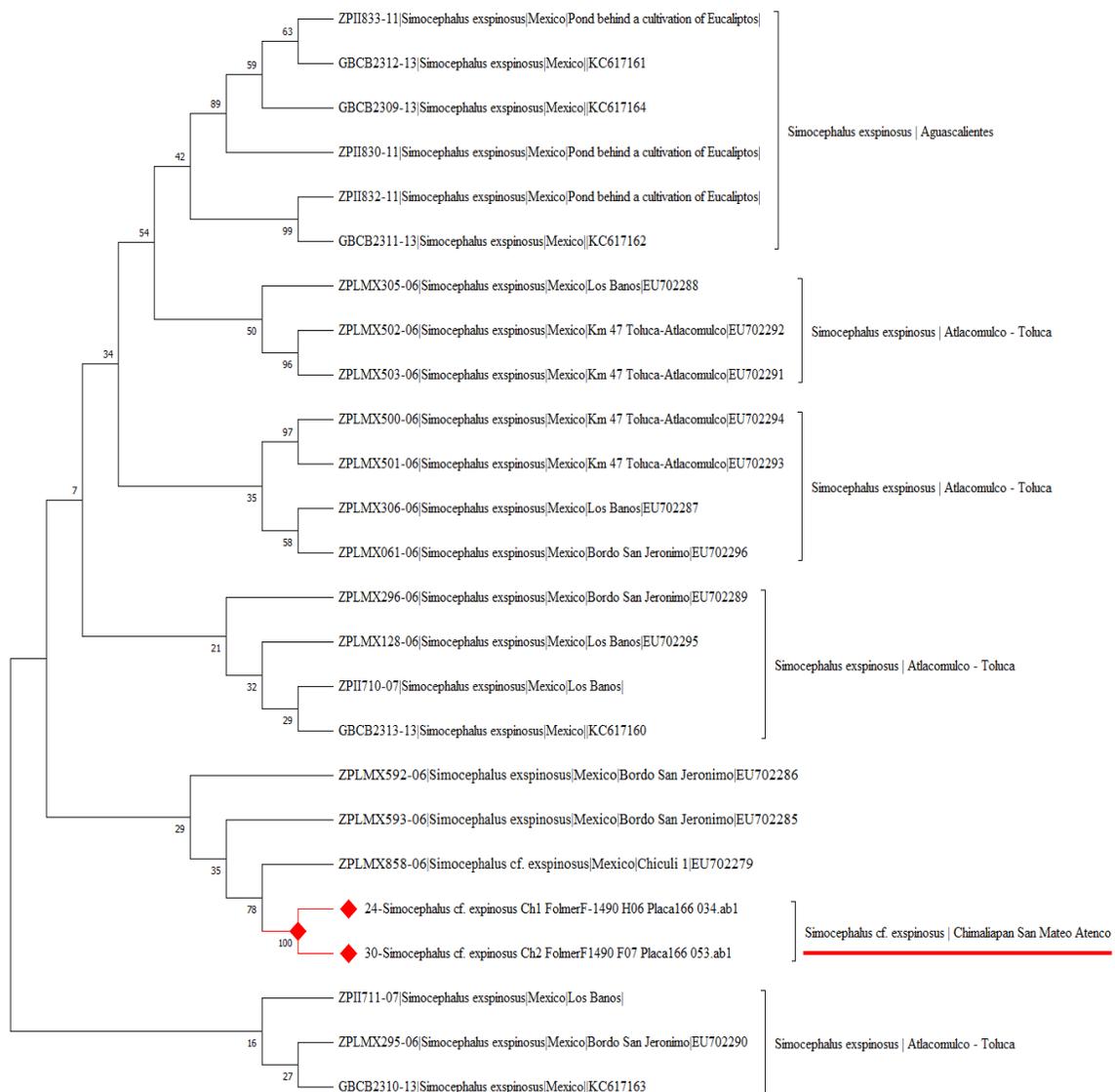


Figura 29. Árbol filogenético consenso correspondiente a *Simocephalus exspinosus* de México | 658 pb | Secuencias obtenidas en BOLD Systems.

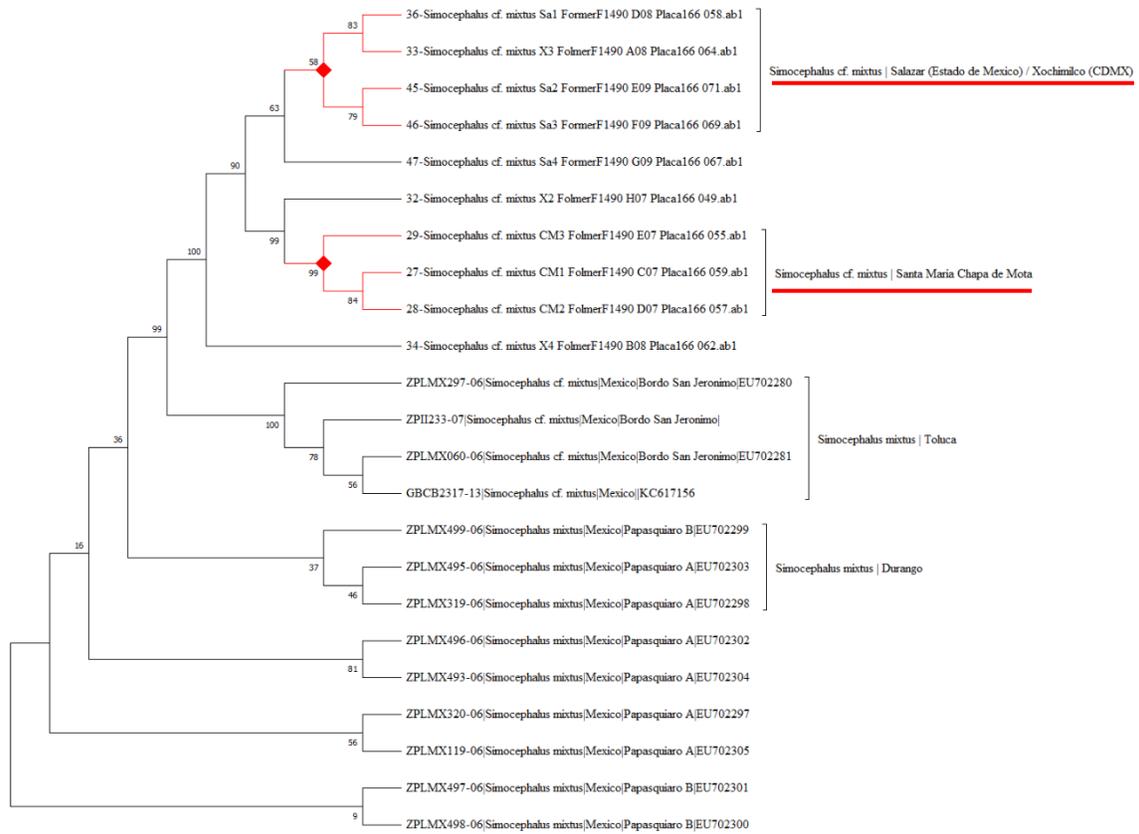


Figura 30. Árbol filogenético consenso correspondiente a *Simocephalus cf. mixtus* de México | 658 pb | Secuencias obtenidas en BOLD Systems.

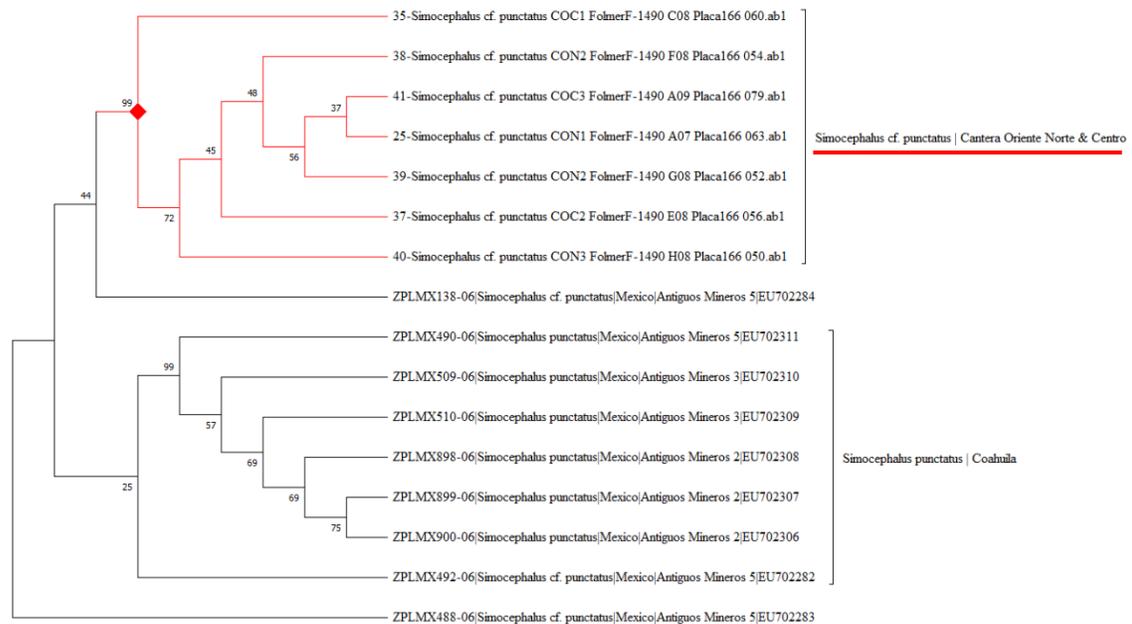


Figura 31. Árbol filogenético consenso correspondiente a *Simocephalus cf. punctatus* de México | 659 pb | Secuencias obtenidas en BOLD Systems.

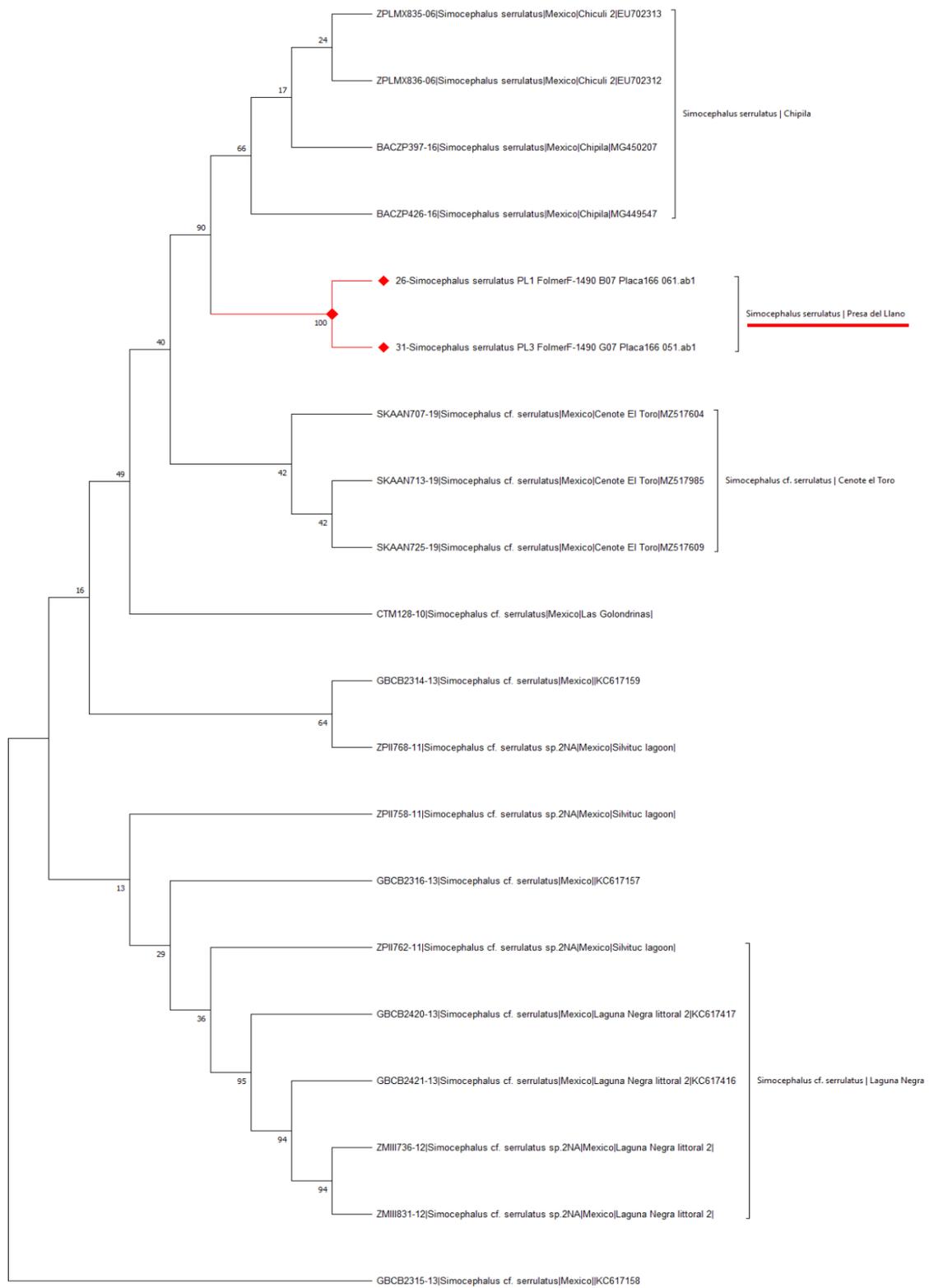


Figura 32. Árbol filogenético consenso correspondiente a *Simocephalus serrulatus* de México | 660 pb | Secuencias obtenidas en BOLD Systems.

Tabla 5. Matriz de distancias genéticas correspondiente a *Simocephalus* cf. *exspinosus* y *S. cf. mixtus* de México | Secuencias complementarias obtenidas de BOLD Systems.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
ZPLMX38-06Simocephalus_cf._exspinosusMexicoChicm_1_EU702279																									
ZPLMX39-06Simocephalus_exspinosusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702285	0.14423																								
ZPH832-11Simocephalus_exspinosusMexicoPont_behind_a_cultivation_of_Eucalyptus	0.158645	0.021996																							
GBCB331-13Simocephalus_exspinosusMexicoKC617162	0.158645	0.021996	0.000000																						
ZPLMX302-06Simocephalus_exspinosusMexicoKm_47_Tolca-Alcancimbo_EU702292	0.155333	0.014287	0.031708	0.031708																					
ZPLMX303-06Simocephalus_exspinosusMexicoKm_47_Tolca-Alcancimbo_EU702291	0.149327	0.014287	0.025954	0.025954	0.004596																				
ZPLMX300-06Simocephalus_exspinosusMexicoKm_47_Tolca-Alcancimbo_EU702294	0.157035	0.005303	0.025924	0.025924	0.021783	0.018609																			
ZPLMX301-06Simocephalus_exspinosusMexicoKm_47_Tolca-Alcancimbo_EU702293	0.157035	0.005303	0.025924	0.021783	0.018609	0.000000																			
ZPLMX306-06Simocephalus_exspinosusMexicoLos_Banos_EU702287	0.151795	0.007167	0.024146	0.020254	0.015529	0.004603	0.004603																		
ZPLMX061-06Simocephalus_exspinosusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702296	0.151277	0.001764	0.024057	0.024057	0.020222	0.015481	0.006127	0.006127	0.000000																
ZPLMX392-06Simocephalus_exspinosusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702286	0.145061	0.000000	0.022104	0.022104	0.013246	0.004920	0.001639	0.001637	0.000000																
ZPLMX395-06Simocephalus_exspinosusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702290	0.153233	0.000000	0.025954	0.018637	0.007056	0.007671	0.009460	0.004307	0.000000																
ZPLMX296-06Simocephalus_exspinosusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702289	0.150272	0.000000	0.021332	0.021332	0.019422	0.001494	0.006382	0.006382	0.003180	0.000000	0.001587														
ZPH711-07Simocephalus_exspinosusMexicoLos_Banos	0.145970	0.000000	0.021069	0.021069	0.013159	0.005389	0.005589	0.001862	0.001859	0.000000	0.000000	0.000000													
GBCB2310-13Simocephalus_exspinosusMexicoKC617163	0.145970	0.000000	0.021069	0.013159	0.005389	0.005589	0.001862	0.001859	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000												
ZPLMX128-06Simocephalus_exspinosusMexicoLos_Banos_EU702295	0.151277	0.000000	0.024057	0.024057	0.020222	0.015481	0.006127	0.009363	0.009363	0.000000	0.001524	0.000000	0.000000	0.000000											
ZPH710-07Simocephalus_exspinosusMexicoLos_Banos	0.151131	0.000000	0.024236	0.024236	0.020445	0.015651	0.006194	0.006194	0.003191	0.000000	0.001543	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000										
GBCB2313-13Simocephalus_exspinosusMexicoKC617160	0.151131	0.000000	0.024236	0.020445	0.015651	0.006194	0.006194	0.003191	0.000000	0.001543	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000										
ZPLMX305-06Simocephalus_exspinosusMexicoLos_Banos_EU702288	0.154923	0.011386	0.022166	0.022166	0.014709	0.009756	0.013032	0.009756	0.010508	0.001140	0.010187	0.011258	0.011258	0.009756	0.009820	0.009820									
ZPH830-11Simocephalus_exspinosusMexicoPont_behind_a_cultivation_of_Eucalyptus	0.155067	0.010660	0.020308	0.020308	0.018614	0.001387	0.013875	0.007078	0.007075	0.011554	0.012310	0.011202	0.013137	0.010755	0.010889	0.008106									
GBCB2309-13Simocephalus_exspinosusMexicoKC617164	0.155067	0.010660	0.020308	0.018614	0.001387	0.013875	0.007078	0.007075	0.011554	0.012310	0.011202	0.013137	0.010755	0.010889	0.008106	0.000000									
ZPH833-11Simocephalus_exspinosusMexicoPont_behind_a_cultivation_of_Eucalyptus	0.158892	0.010757	0.020345	0.020345	0.018260	0.012707	0.012692	0.012692	0.010872	0.011814	0.012707	0.011410	0.012400	0.010872	0.010952	0.010952	0.009944	0.000000	0.000000						
ZPH83212-13Simocephalus_exspinosusMexicoKC617161	0.158892	0.010757	0.020345	0.020345	0.018260	0.012707	0.012692	0.012692	0.010872	0.011814	0.012707	0.011410	0.012400	0.010872	0.010952	0.010952	0.009944	0.000000	0.000000	0.000000					
24-Simocephalus_of._exspinosus_Chi1_FolmerFI_1490_H06_Pical66_034.ab1	0.743101	0.639393	0.657681	0.676811	0.674854	0.667712	0.676956	0.676956	0.665978	0.662838	0.642570	0.662838	0.642570	0.662838	0.654115	0.654115	0.675709	0.653805	0.633805	0.671193					
30-Simocephalus_of._exspinosus_Chi2_FolmerFI_1490_F07_Pical66_053.ab1	0.784006	0.666682	0.729140	0.729140	0.704142	0.697449	0.701943	0.701943	0.692023	0.692227	0.668241	0.692227	0.668241	0.684128	0.684128	0.691580	0.691580	0.722929	0.722929	0.54279					
ZPLMX297-06Simocephalus_of._mixtusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702280		0.003182																							
ZPLMX060-06Simocephalus_of._mixtusMexicoBordo_Sun_Jerommo_EU702281	0.003197	0.000000																							
ZPH233-07Simocephalus_of._mixtusMexicoBordo_Sun_Jerommo	0.128810	0.134447	0.129762	0.129762																					
GBCB2317-13Simocephalus_of._mixtusMexicoKC617156	0.132946	0.133693	0.131905	0.131905	0.005282																				
ZPLMX495-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_ABEU702303	0.132453	0.132838	0.132608	0.132608	0.006350	0.006358																			
ZPLMX496-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_ABEU702302	0.131660	0.135600	0.131389	0.131389	0.003509	0.004847	0.001559																		
ZPLMX119-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_ABEU702305	0.127468	0.131524	0.127311	0.127311	0.000000	0.004859	0.004682	0.006063																	
ZPLMX319-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_ABEU702298	0.129672	0.131971	0.131164	0.131164	0.005263	0.000000	0.006252	0.004601	0.004594																
ZPLMX493-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_ABEU702304	0.127692	0.130051	0.129234	0.129234	0.001748	0.003221	0.003117	0.001529	0.001527	0.003058															
ZPLMX498-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_BBEU702300	0.127692	0.130051	0.129234	0.129234	0.001748	0.003221	0.003117	0.001529	0.001527	0.003058															
ZPLMX499-06Simocephalus_of._mixtusMexicoPapasquaro_BBEU702299	0.125719	0.128139	0.127311	0.127311	0.000000	0.004859	0.004682	0.006063	0.000000	0.004594	0.001527	0.001527													
34-Simocephalus_of._mixtus_X2_FolmerFI_1490_H07_Pical66_062.ab1	0.924453	0.901773	0.908126	0.908126	0.919821	0.910284	0.910284	0.910284	0.886559	0.886559	0.890653	0.883757	0.890653	0.890653	0.890653										
32-Simocephalus_of._mixtus_X4_FolmerFI_1490_H08_Pical66_049.ab1	0.755566	0.764392	0.772189	0.772189	0.800213	0.800159	0.794680	0.794680	0.790615	0.783712	0.783712	0.783712	0.783712	0.783712	0.783712	0.911832									
29-Simocephalus_of._mixtus_CM3_FolmerFI_1490_H07_Pical66_055.ab1	0.809497	0.827028	0.830667	0.830667	0.821628	0.816066	0.816263	0.816263	0.812037	0.812037	0.812037	0.812037	0.812037	0.812037	0.812037	0.969522	0.360218								
27-Simocephalus_of._mixtus_CM2_FolmerFI_1490_C07_Pical66_059.ab1	0.779838	0.777426	0.778038	0.778038	0.770672	0.788846	0.788846	0.788846	0.789098	0.789098	0.789098	0.789098	0.789098	0.789098	0.789098	0.954825	0.379514	0.224390							
28-Simocephalus_of._mixtus_CM2_FolmerFI_1490_D07_Pical66_057.ab1	0.855050	0.856988	0.863317	0.863317	0.840084	0.881745	0.885791	0.885006	0.875963	0.875963	0.875963	0.875963	0.875963	0.875963	0.875963	0.954825	0.379514	0.224390							
47-Simocephalus_of._mixtus_Sa4_FolmerFI_1490_G09_Pical66_067.ab1	0.836622	0.838466	0.841994	0.841994	0.748025	0.789495	0.825773	0.801539	0.798854	0.796592	0.796592	0.796592	0.796592	0.796592	0.796592	0.920798	0.683303	0.728792	0.693389	0.713827					
36-Simocephalus_of._mixtus_Sa1_FolmerFI_1490_D08_Pical66_058.ab1	0.954190	0.948501	0.945262	0.945262	0.866013	0.869335	0.858196	0.858196	0.870798	0.870798	0.870798	0.870798	0.870798	0.870798	0.870798	0.969522	0.360218	0.224390							
33-Simocephalus_of._mixtus_X3_FolmerFI_1490_H08_Pical66_064.ab1	0.869531	0.841760	0.851649	0.851649	0.735075	0.770752	0.770752	0.770752	0.768269	0.768269	0.768269	0.768269	0.768269	0.768269	0.768269	0.969522	0.360218	0.224390							
45-Simocephalus_of._mixtus_Sa2_FolmerFI_1490_E09_Pical66_071.ab1	0.808697	0.817000	0.820066	0.820066	0.722792	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.754278	0.969522	0.360218	0.224390							
46-Simocephalus_of._mixtus_Sa3_FolmerFI_1490_F09_Pical66_069.ab1	0.860851	0.856608	0.865501	0.865501	0.843570	0.879413	0.890393	0.876527	0.876527	0.876527	0.876527	0.876527	0.876527	0.876527	0.876527	0.969522	0.360218	0.224390							

Tabla 6. Matriz de distancias genéticas correspondiente a *Simoecephalus* cf. *punctatus* y *S. serrulatus* de México | Secuencias complementarias obtenidas de BOLD Systems.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ZPLMX900-06 Simoecephalus_punctatus Mexico Antiguos_Mineros_2 EU702306															
ZPLMX899-06 Simoecephalus_punctatus Mexico Antiguos_Mineros_2 EU702307	0.000000														
ZPLMX898-06 Simoecephalus_punctatus Mexico Antiguos_Mineros_2 EU702308	0.000000	0.000000													
ZPLMX510-06 Simoecephalus_punctatus Mexico Antiguos_Mineros_3 EU702309	0.000000	0.000000	0.000000												
ZPLMX509-06 Simoecephalus_punctatus Mexico Antiguos_Mineros_3 EU702310	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000											
ZPLMX492-06 Simoecephalus_cf_punctatus Mexico Arriaguos_Mineros_5 EU702282	0.048024	0.048024	0.048024	0.048024	0.048024										
ZPLMX490-06 Simoecephalus_punctatus Mexico Antiguos_Mineros_5 EU702311	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.048024									
ZPLMX488-06 Simoecephalus_cf_punctatus Mexico Arriaguos_Mineros_5 EU702283	0.049696	0.049696	0.049696	0.049696	0.049696	0.000000	0.049696								
ZPLMX138-06 Simoecephalus_cf_punctatus Mexico Arriaguos_Mineros_5 EU702284	0.050234	0.050234	0.050234	0.050234	0.050234	0.050234	0.000000	0.050234	0.000000						
41-Simoecephalus_cf_punctatus_COC3_FolnerF_1490_A09_Placa166_079.ab1	1.001916	1.001916	1.001916	1.001916	1.001916	0.993651	1.001916	0.986567	0.970414						
40-Simoecephalus_cf_punctatus_COC3_FolnerF_1490_H08_Placa166_050.ab1	0.856350	0.836350	0.836350	0.836350	0.836350	0.857140	0.836350	0.887637	0.987746	0.619477					
39-Simoecephalus_cf_punctatus_CON2_FolnerF_1490_G08_Placa166_052.ab1	0.815304	0.815304	0.815304	0.815304	0.815304	0.839794	0.815304	0.850550	0.773876	0.342184	0.506553				
38-Simoecephalus_cf_punctatus_CON2_FolnerF_1490_F08_Placa166_054.ab1	1.354605	1.354605	1.354605	1.354605	1.354605	1.139846	1.354605	1.103755	1.109274	0.918810	1.157607	0.825809			
37-Simoecephalus_cf_punctatus_COC2_FolnerF_1490_E08_Placa166_056.ab1	0.956789	0.956789	0.956789	0.956789	0.956789	0.956789	0.956789	0.932776	0.893471	0.653955	0.829099	0.523169	1.303480		
35-Simoecephalus_cf_punctatus_COC1_FolnerF_1490_C08_Placa166_060.ab1	1.061546	1.061546	1.061546	1.061546	1.061546	1.061546	1.061546	1.017367	0.961408	1.039123	1.040629	0.889016	1.924678	1.068653	
25-Simoecephalus_cf_punctatus_CON1_FolnerF_1490_A07_Placa166_063.ab1	0.856794	0.856794	0.856794	0.856794	0.856794	0.856794	0.856794	0.870326	0.836894	0.566331	0.301081	1.047824	0.617147	1.063422	
ZPLMX835-06 Simoecephalus_serrulatus Mexico Chiculi_2 EU702313															
ZPLMX836-06 Simoecephalus_serrulatus Mexico Chiculi_2 EU702312	0.06776														
BACZP397-16 Simoecephalus_serrulatus Mexico Chippala MG450207	0.06788	0.000000													
BACZP426-16 Simoecephalus_serrulatus Mexico Chippala MG449547	0.06776	0.000000	0.000000												
GBCB240-13 Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico Laguna_Negra_litoral_2 KC617417	0.043711	0.036186	0.036186	0.036129	0.000000										
GBCB241-13 Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico Laguna_Negra_litoral_2 KC617416	0.043711	0.036186	0.036186	0.036129	0.000000	0.000000									
ZAMH831-12 Simoecephalus_cf_serrulatus_sp_2NA Mexico Laguna_Negra_litoral_2	0.033322	0.026822	0.026822	0.026822	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604					
SKAAN707-19S Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico Centro_El_Toro MZ517604	0.033322	0.026822	0.026822	0.026822	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.000000				
SKAAN713-19S Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico Centro_El_Toro MZ517985	0.033322	0.026822	0.026822	0.026822	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.015604	0.000000	0.000000			
SKAAN725-19S Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico Centro_El_Toro MZ517609	0.034710	0.029744	0.029698	0.016979	0.016979	0.016979	0.016979	0.016979	0.016979	0.016979	0.007752	0.007752			
CTM128-10S Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico Las_Golondrinas	0.035042	0.027332	0.027282	0.027282	0.008931	0.008931	0.008931	0.008931	0.008931	0.003565	0.003565	0.003559			
GBCB2315-13 Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico KC617158	0.050402	0.027332	0.027282	0.027282	0.008931	0.008931	0.008931	0.008931	0.008931	0.003565	0.003565	0.003559	0.000000		
ZPH758-11S Simoecephalus_cf_serrulatus_sp_2NA Mexico Shivux_lagoon	0.036953	0.029422	0.029372	0.029372	0.011887	0.011887	0.011887	0.011887	0.011887	0.005076	0.005076	0.005068	0.000000		
GBCB2314-13 Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico KC617159	0.036953	0.029422	0.029372	0.029372	0.011887	0.011887	0.011887	0.011887	0.011887	0.005076	0.005076	0.005068	0.000000		
ZPH768-11S Simoecephalus_cf_serrulatus_sp_2NA Mexico Shivux_lagoon	0.034970	0.027282	0.027232	0.027232	0.008915	0.008915	0.008915	0.008915	0.008915	0.003559	0.003559	0.003552	0.000000		
GBCB2316-13 Simoecephalus_cf_serrulatus Mexico KC617157	0.034970	0.027282	0.027232	0.027232	0.008915	0.008915	0.008915	0.008915	0.008915	0.003559	0.003559	0.003552	0.000000		
ZPH762-11S Simoecephalus_cf_serrulatus_sp_2NA Mexico Shivux_lagoon	0.674972	0.661053	0.663214	0.663214	0.677513	0.677513	0.677513	0.677513	0.661053	0.661053	0.661053	0.662314	0.711830	0.697392	0.717927
26-Simoecephalus_serrulatus_PL1_FolnerF_1490_B07_Placa166_061.ab1	0.618299	0.613010	0.611203	0.611203	0.616034	0.616034	0.616034	0.613874	0.613874	0.633740	0.633740	0.633740	0.630360	0.639265	0.472573
31-Simoecephalus_serrulatus_PL3_FolnerF_1490_G07_Placa166_051.ab1															

Discusión

Simocephalus se trata de un género muy difícil de identificar morfológicamente, pues sus caracteres más importantes como el número y forma de pectenes en la garra postabdominal, la forma del ocelo e incluso la forma de la cabeza, varían muy poco dentro de las diferentes poblaciones obtenidas. Esta cuestión se puede explicar ya sea por cambios ontogénicos (**Anexo 5**) o bien, por las características ambientales de los diferentes cuerpos de agua donde fueron obtenidos, pues como menciona Hovind (2007) las señales ambientales inducen diferentes tamaños, comportamientos y otros caracteres que provocan confusiones al momento de determinar especies de *Simocephalus* (Orlova-Bienkowskja, 2001; Young *et al.*, 2012).

Referente con la revisión bibliográfica, se aumentó el registro de especies en México a ocho, lo que representa un 33.3% total de la fauna mundial de este género (Kotov, 2019), lo que concuerda con Orlova-Bienkowskja (2001) y Hovind (2007) quienes mencionan que este género es muy abundante en todo el mundo, además de que presenta un gran grado de diversidad a nivel de especie y población, coincidiendo con la presencia de cuatro especies con el complejo “cf.”, término que se manifiesta cuando la identificación de algún taxón se aproxima lo suficiente a uno ya conocido, sin embargo este difiere en rasgos ya sean morfológicos, moleculares e incluso de distribución geográfica, lo que provoca que no se pueda establecer la identidad de la especie con certeza (Morrone, 2013).

De acuerdo con los registros en los estados de la República Mexicana, se muestra una tendencia en la región central del país donde se encuentran más observaciones (principalmente en el Estado de México), demostrando así la falta de conocimiento que aún se tiene acerca de la diversidad de microcrustáceos en otras regiones (Figura 4b). La razón de esto, y como menciona Elías-Gutiérrez *et al.* (2008a), se puede deber principalmente a que muchas veces la caracterización propia para llegar a nivel de especie requiere de caracteres taxonómicos muy precisos e incluso caracteres nuevos donde solamente especialistas en el tema podrían descifrar, por lo que para taxónomos que apenas comienzan en el tema, se presentaría como una cuestión muy difícil. Otra justificación se puede deber a las condiciones ambientales que presentan los cuerpos de agua, pues como mencionan Martínez-Jerónimo *et al.* (2008) y Mendoza-Chávez (2016), *Simocephalus* es un organismo

muy sensible ante las condiciones ambientales, incluso más que *Daphnia magna*, organismo típico utilizado para la evaluación de toxicidad dentro de la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-087-1995-SCFI; sin embargo, la presencia de vegetación sumergida juega un papel sumamente importante para el establecimiento de este género, ya que en los sitios de muestreo donde no se encontró presencia alguna de este, carecían de esta vegetación.

De acuerdo con la identificación morfológica de las poblaciones obtenidas, se encontró un total de 4 especies, que como se mencionó anteriormente, únicamente *Simocephalus serrulatus* fue correctamente determinada a partir de las claves dicotómicas, las demás se mantuvieron en estatus de “cf.”. A modo de comparación dentro de las diferentes poblaciones, así como de las especies, los caracteres más importantes a destacar fueron los siguientes:

Simocephalus cf. mixtus: Típicamente, esta especie se menciona que presenta un margen ventral de la cabeza de forma recta o ligeramente cóncava, a veces con una pequeña prominencia, el ocelo es típicamente alargado y presenta una prominencia de la valva dorso-posterior de una longitud moderada, con una base ancha y de un gran diámetro. Al ser parte del subgénero *Simocephalus* s. str., los pectenes de la garra postabdominal no se encuentran diferenciados y en algunos casos no eran completamente visibles. Este complejo de especies fue encontrado en tres sitios de muestreo, siendo la Laguna Salazar, el bordo de Santa María Chapa de Mota y en los canales de Xochimilco. Las tres poblaciones presentaron diferencias morfológicas marcadas, como la forma de la cabeza y la posición del ojo (Figura 13a, 14c, 22b); especialmente los de Chapa de Mota, donde sus individuos aunque presentaron un margen ventral de la cabeza enteramente recto, otros presentaron una prominencia (Figura 12), lo que al principio provocó una confusión con *Simocephalus mirabilis*, pues el ocelo de igual manera se muestra alargado, además de acuerdo con su distribución, esta especie debería habitar en toda América (Orlova-Bienkowskja, 2001). Sin embargo, la poca claridad en la forma de los pectenes en su garra postabdominal y su nulo registro previo en aguas mexicanas permitieron concluir que era un error de identificación.

Simocephalus cf. exspinosus: Siendo representante del subgénero *Echinocaudatus*, esta especie se caracteriza por tener la parte frontal de la cabeza redondeada, así como un margen ventral de forma recta, el rostro se presenta corto, además, exhibe sétulas delgadas en el lado

interno del margen posterior de la valva. Otra característica que destacar es que el ángulo valvar dorso-posterior no presenta prominencia alguna o bien, cuando la hay, es pequeña y redondeada; sin embargo, las características diacríticas para su identificación fueron la forma de los pectenes en la garra postabdominal (Figura 19c), donde los próximos al postabdomen son más largos que los distales; sin embargo, estos no se presentaron de forma gruesa. Otra característica fue la presencia de las “espinas” (setulas de tamaño grueso) ubicadas en el margen ventral valvar, así como un ángulo dorso posterior (túmulo) muy pronunciado (Figura 17; Figura 18). Esta especie fue encontrada en la Laguna de Chimaliapan y el Embalse de Salazar; en esta ocasión, dentro de las diferencias se destacó la forma del ocelo, siendo en forma de punto para la Laguna Salazar (Figura 16c) y alargado para la Laguna de Chimaliapan (Figura 18b), sin embargo, en posteriores preparaciones, este se mostró nuevamente como punto (Figura 19a), mostrando la importancia que tiene la variación ya sea estacional, generacional u ontogénica dentro de las poblaciones.

Simocephalus serrulatus: Por su parte, esta especie se caracteriza por presentar una prominencia valvar dorso-posterior muy grande, donde su longitud supera el diámetro de un círculo inscrito en su contorno (Figura 21b). Presenta también dentículos que cubren su margen ventral, posterior y aproximadamente 1/3 del margen dorsal (Figura 21a-b), además al ser parte del subgénero *Coronacephalus*, la parte frontal de la cabeza se encuentra en un ángulo recto con la presencia de dentículos, también conocidos como “corona” (Figura 20c-d). Está especie fue encontrada únicamente en el embalse de la Presa del Llano y de acuerdo con Orlova-Bienkowskja (2001), es la que más variabilidad presenta dentro de su ciclo de vida, así como ser una especie cosmopolita; sin embargo, su variabilidad morfológica no es geográfica y por lo tanto no hay motivo para describir subespecies.

Simocephalus cf. punctatus: *Simocephalus punctatus* se trata de la “variante” americana de *S. vetulus* (Hovind, 2007), pues sus características morfológicas únicamente difieren en el ocelo (Orlova-Bienkowskja, 2001). Debido a esto, se ha ocasionado que existan varios errores de identificación en México, por ejemplo, el registro de *S. vetulus* y *S. vetulus elizabethae* en Ciudad de México, Aguascalientes, Yucatán, Campeche, Veracruz, Estado de México e Hidalgo respectivamente. En el presente estudio, las poblaciones obtenidas de la Cantera Oriente muestran un ocelo no completamente como un punto, lo cual podría prestarse

a un error de identificación. No obstante, tanto Hann (1995) y Orlova-Bienkowskja (2001) mencionan que *S. vetulus* es endémico del Paleártico, mientras que una especie diferente (*Simocephalus* cf. *vetulus*) existe únicamente en el Neártico (Canadá) y otra es endémica región patagónica de Chile y Argentina (Neotrópico), ambas sin ninguna conexión (Hovind, 2007). Ante esta problemática, el uso y descripción de los machos sirve como una herramienta útil para la diferenciación entre especies parecidas (Shi *et al.*, 2011), en este caso Orlova-Bienkowskja (2001) solamente realizó la descripción del macho de *Simocephalus vetulus* pues argumentaba que no existían diferencias entre ninguna especie perteneciente al subgénero *Simocephalus* s. str. En esta descripción, ella menciona que los machos presentan un ángulo supra anal muy puntiagudo, caso contrario al macho obtenido en esta investigación (Figura 25d-e) pues el ángulo se presenta de una manera cóncava–recta, el postabdomen ella menciona que presenta de cinco a ocho dientes anales, siendo en *S. cf. punctatus* cinco. Finalmente, el ángulo valvar dorso-posterior la autora lo menciona de forma redondeada, sin embargo, en este caso se presentó de forma convexa pronunciada y en cierta parte recta.

De acuerdo con las filogenias obtenidas, debido a la baja calidad del ADN no fue completamente posible construir arboles con distancias genéticas precisas, lo cual se vio reflejado en las diferentes matrices (Tabla 5-6), pues las diferencias mostradas con valores obtenidos en antecedentes eran mayores (Hovind 2007; Shuh-Sen *et al.*, 2012 y Huang *et al.*, 2014). Lo anterior se puede deber a varios factores, entre ellos el uso de los primers Folmer, pues se ha demostrado que el éxito de la amplificación de la Citocromo C Oxidasa I (COI) ha sido variable en diferentes familias de cladóceros; ejemplos de esto son las pocas referencias para *Diaphanosoma*, *Macrothrix* y *Scapholeberis* disponibles para BOLD Systems (Elías-Gutiérrez *et al.* 2008a). Prosser *et al.* (2013) mencionan y demuestran que el uso de primers específicos (Zplank), así como la previa fijación en alcohol al 96% a 4°C aumentan sustancialmente el grado de éxito en la extracción y amplificación del gen COI, teniendo para Daphniidae un aumento del 35.77% y 25.46% respectivamente, por lo que se recomienda utilizar el procedimiento descrito por Elías-Gutiérrez *et al.* (2018) para investigaciones futuras. Sin embargo, en el caso de *Simocephalus* cf. *exspinosus* (Figura 29) se diferencia en la parte superior aquellas secuencias pertenecientes al estado de Aguascalientes (soporte >50), mientras que las demás pertenecen a sitios ubicados en la región de Atlacomulco-Toluca, no obstante, la secuencia más cercana a las de Chimaliapan

se trata de otro complejo cf. de Chiculi en el estado de Sonora (soporte 78), por lo que podemos intuir que esta especie se distribuye ampliamente en México, conformando un complejo que requiere de mayor estudios para aclarar su estado taxonómico. Cuestión similar ocurre con *Simocephalus* cf. *mixtus* (Figura 30), en este árbol se puede observar un agrupamiento (soporte 99) del complejo cf. para toda la región central de México separada de las secuencias de Durango; donde existe una separación para las poblaciones de Toluca (soporte 100) y de Santa María Chapa de Mota (soporte 99); en el caso de las poblaciones de Salazar y Xochimilco no sucede lo mismo, sin embargo, siguen siendo parte de las poblaciones centrales de México (soporte 90). En el caso de *Simocephalus* cf. *punctatus* (Figura 31), se encontró un patrón donde se separa a la especie registrada de Cuatro Ciénegas Coahuila (soporte 99) con los organismos cf. reportados en este estudio (soporte 99), lo que podrían indicar un aislamiento geográfico, pero debido a la calidad del electroferograma se requiere de mayor estudio para aclarar esta hipótesis. Finalmente, en *Simocephalus* *serrulatus* (Figura 32) se presenta una agrupación de la propia especie para los sitios de Sonora, Tlaxcala y el Estado de México (soporte 90), dando una separación para las poblaciones cf. de Quintana Roo (soporte 95) y Campeche (soporte 64) respectivamente. Concordando con Elías-Gutiérrez *et al.* (2006) quien menciona que la fauna de cladóceros mexicanos tiene un origen mixto, pues existe una mayor influencia de las formas sudamericanas en las tierras bajas tropicales, mientras que las formas norteamericanas son comunes en la meseta central del país. Por lo tanto, y de acuerdo con los resultados mostrados, se muestra que en efecto cada especie se encuentra en un grupo exclusivo, lo que coincide con Hovind (2007) quien menciona que en *Simocephalus*, el alto grado de diversidad a nivel de especie y población sugieren un potencial en los procesos de diversificación, sin embargo se necesitan secuencias con un mejor porcentaje de pureza para comparar estas filogenias correctamente y así tener mejores datos para un mayor soporte en las conclusiones.

Conclusiones

En esta investigación se demostró la importancia que tiene la taxonomía integrativa para la identificación de especies de cladóceros del género *Simocephalus*, pues, aunque se logró una identificación morfológica, diferentes caracteres no concordaron completamente con la clave dicotómica especializada en este género. Además, al momento de realizar las diferentes

preparaciones para su observación al microscopio se notó que diversos caracteres de importancia taxonómica cambian ontogénicamente lo que causó problemas y confusiones al momento de identificarlas, por lo que el uso de una identificación molecular se sustenta como una herramienta complementaria para combatir este problema, lo cual se justifica también con los antecedentes utilizados en este estudio.

Es necesario optimizar los análisis de ADN que parecen ser especie-específicos tanto de los primers como la temperatura utilizada en el PCR, se recomienda probar el uso de otros primers además de los Folmer para medir su potencial de éxito. A pesar de esto, el uso de las identificaciones moleculares es muy importante y esto se puede comprobar en la revisión bibliográfica realizada en la base de datos de BOLD Systems, pues se reforzó la incógnita de que en nuestro país no existe la presencia de *Simocephalus vetulus*, por lo que en los diferentes estudios donde se menciona a esta especie, se podrían tratar de un error de identificación. Ante esto se recomiendan los análisis taxonómicos integrativos, con el fin de evitar errores causados por la variabilidad que presenta el ocelo y los pectenes de la garra postabdominal, pues claramente estas diferencias morfológicas son importantes en la taxonomía del grupo y poco han sido considerados.

Finalmente, y con el fin de proponer una herramienta más en la identificación de especies del subgénero *Simocephalus* s. str., específicamente a *Simocephalus punctatus* o *Simocephalus* cf. *punctatus*, se realizó la descripción morfológica de los machos de esta especie, mostrando que, aunque pocas, sí presenta diferencias en contra parte del macho de *Simocephalus vetulus*, el cual hasta ahora se utilizaba como esquema general para el subgénero completo; no obstante, también se recomienda la descripción de los machos de *Simocephalus mixtus*, *S. elizabethae*, *S. gibbosus* y *S. vetuloides* para un mejor entendimiento de este subgénero monofilético.

Referencias

- American Public Health Association. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater 22nd edition*. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Andersen, R. A. (2005). Recipes for freshwater and seawater media. En: R. A. Andersen (Eds.), *Algal Culturing Techniques* (pp. 429-538). Londres: Elsevier Academic Press.
- Araiza-Vázquez, D. A. (2020). *Efecto de la temperatura sobre la fisiología y la demografía de *Simocephalus vetulus* en presencia de extractos crudos del florecimiento de *Microcystis aeruginosa* de la pista olímpica de remo y canotaje "Virgilio Uribe"*. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Bojórquez, L. (2017). *Contaminación Química y Biológica en la zona Lacustre de Xochimilco*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Borowitzka, M. A. y Borowitzka, L. J. (1988). *Micro-algal biotechnology*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Caviedes-Solís, S. M. (2007). *Dinámica poblacional de tres especies de cladóceros (*Daphnia pulex*, *Moina macrocopa* y *Simocephalus vetulus*) utilizando una cianobacteria (*Anabaena sp.*) y un alga verde (*Scenedesmus acutus*) como alimento*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Chaparro-Herrera, D. J., Nandini, S. y Sarma, S. S. S. (2013). Effect of water quality on the feeding ecology of axolotl *Ambystoma mexicanum*. *Journal of Limnology*, 72 (3), 555 - 563 pp.
- Elías-Gutiérrez, M., Ciro-Pérez, J., Suárez-Morales, E., y Silva-Briano, M. (1999). The freshwater Cladocera (orders Ctenopoda and Anomopoda) of Mexico, with comments on selected taxa. *Crustaceana*, 72 (2), 171-186.
- Elías-Gutiérrez, M., Nieto-López, M. G. y Garfías-Espejo, T. (2004). Pulgas de agua: Pequeños monstruos dulceacuólicas. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 174, 16 – 21.

- Elías-Gutiérrez, M. (2006). Estudio comparativo del zooplancton en dos regiones de México. El Colegio de la Frontera Sur, Informe final SNIB CONABIO proyecto No. AS019 México.
- Elías-Gutiérrez, M., Kotov, A. y Garfias-Espejo, T. (2006). Cladocera (Crustacea: Ctenopoda, Anomopoda) from Southern Mexico, Belize, and Northern Guatemala, with some biogeographical notes. *Zootaxa*, 1-27.
- Elías-Gutiérrez, M., Suárez, E., Gutiérrez, M., Granados, J. G. y Garfias, T. (2008a). *Guía ilustrada de los microcrustáceos (Cladóceros y Copépodos) de las Aguas Continentales de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, ECOSUR.
- Elías-Gutiérrez, M., Jerónimo, F. M., Ivanova, N. V., Valdez-Moreno, M., y Hebert, P. D. N. (2008b). DNA barcodes for Cladocera and Copepoda from Mexico and Guatemala, highlights, and new discoveries. *Zootaxa*, 1839, 1-42.
- Elías-Gutiérrez, M., Valdez-Moreno, M., Topan, J., Young, M. R. y Cohuo-Colli, J. A. (2018). Improved protocols to accelerate the assembly of DNA barcode reference libraries for freshwater zooplankton. *Ecology and Evolution*, 2018, 1-17.
- Enríquez-García, C., Nandini, S. y Sarma, S. S. S. (2009). Seasonal dynamics of zooplankton in Lake Huetzalin, Xochimilco (Mexico City, Mexico). *Limnologica*, 39 (4), 283-291.
- Espinosa-Rodríguez, C. A. (2010). *Efecto de las interacciones de Euchlanis dilatata (Rotifera: Euchlanidae) con los cladóceros Alona glabra, Macrothrix triserialis y Simocephalus vetulus alimentados con diferentes dietas*. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Espinosa-Rodríguez, C. A., Rivera-De la Parra, L., Martínez-Téllez, A., Gómez-Cabral, G. C., Sarma, S., y Nandini, S. (2016). Allelopathic interactions between the macrophyte *Egeria densa* and plankton (alga, *Scenedesmus acutus* and cladocerans, *Simocephalus sp.*): A laboratory study. *Journal of Limnology*, 75 (s1), 151-160.

- Espinosa-Rodríguez, C. A., Sarma, S. S. S. y Nandini, S. (2021). Zooplankton community changes in relation to different macrophyte species: Effects of *Egeria densa* removal. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 21, 153-163.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, 39: 783-791.
- Figuroa-Sánchez, M. A., Nandini, S., Castellanos-Páez, M. E. y Sarma, S. S. S. (2019). Effect of temperature, food quality and quantity on the feeding behavior of *Simocephalus mixtus* and *Hyaella azteca*: implications for biomanipulation. *Wetlands Ecology and Management* 27, 353–361.
- Figuroa-Sánchez, M., Nandini, S. y Sarma, S. S. S. (2020). Zooplankton community structure in relation to microcystins in the eutrophic Lake Zumpango (State of Mexico). *Fundamental and Applied Limnology*, 193: 1-13.
- García, J., Molina, F. I., Díaz, M. y Quiroz, H. (2010). Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*, 20 (2), 23-30.
- García-García, G., Nandini, S., Sarma, S. S. S., Martínez-Jerónimo, F. y Jiménez-Contreras, J. (2012). Impact of chromium and aluminum pollution on the diversity of zooplankton: A case study in the Chimaliapan wetland (Ramsar site) (Lerma basin, México). *Journal of Environmental Science and Health*, 47, 534 – 547.
- García-Rodríguez, J., Molina-Astudillo, F. I., Quiroz, H. y Trejo, R. (2003). Especies del fitoplancton presentes en el lago Tonatiahua, Morelos, México. *Acta Universitaria*, 13 (29), 53-66.
- HACH, Co. (2012). *Water Analysis Handbook*. 7a. Colorado, Estados Unidos de América: Loveland.
- Hann, B. J. (1986). Genetic variation and population differentiation in species of *Simocephalus* (Cladocera, Daphniidae). *Canadian Journal of Zoology*, 64, 2246-2256.
- Hann, B. J. (1995). Genetic variation in *Simocephalus* (Anomopoda: Daphniidae) in North America: patterns and consequences. *Hydrobiologia*, 307, 9-14 pp.

- Hernández, O. U. (2013). *Prospección ecológica de la Laguna de Salazar, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Hovind, L. J. (2007). *Among-continent evolutionary relations of the subgenus Simocephalus (Simocephalus) (Crustacean: Daphniidae)*. Tesis de Maestría. Facultad de la Escuela de Graduados de la Universidad Estatal de Nueva York. Nueva York.
- Huang, X., Shi, X., Kotov, A. A. y Gu, F. (2014). Confirmation through genetic analysis of the existence of many local phyloclade's of the genus *Simocephalus* (Crustacea, Cladocera) in China. *Plos One*, 9 (11), 1-10.
- Juárez, J. y Villagra-de-Gamundi, A. (2007). Bioensayos preliminares para evaluar la toxicidad del lindano sobre *Simocephalus vetulus* (O. F. Müller, 1776) (Crustacea: Cladocera). *Revista Peruana de Biología*, 14 (1), 65-67.
- Kotov, A., Forró, L., Korovchinsky, N. M. y Petrusek, A. (2019). FADA Cladocera: World checklist of freshwater Cladocera species (version Jan 2013). En Y. Roskov, G. Ower, T. Orrell, D. Nicolson, N. Bailly, P. M. Kirk, T. Bourgoin, R. E. DeWalt, W. Decock, E. van Nieukerken, J. Zarucchi y L. Penev (Eds.), *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life* (ISSN 2405-8858). Leiden, Países Bajos: Naturalis.
- Lopes, I., Moreira-Santos, M., Rendón-von, O. J., Baird, D. J., Soares, A. M. V. M. y Ribeiro, R. (2011). Suitability of five cladoceran species from Mexico for *in situ* experimentation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74 (1), 111-116.
- Lot, A. (2007). *Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico*. Ciudad de México: Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.
- Martínez-Jerónimo, F., Cruz-Cisneros, J. L. y García-Hernández, L. (2008). A comparison of the response of *Simocephalus mixtus* (Cladocera) and *Daphnia magna* to contaminated freshwater sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety Volume*, 71 (1), 26-31.

- Mendoza-Chávez, Y. J. (2016). *Especies de zooplancton presentes en agua contaminada con arsénico en Matehuala, San Luis Potosí, México*. Tesis de maestría. Instituto Potosino De Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí.
- Montero-Pau, J., Gómez, A y Muñoz, J. (2008). Application of an inexpensive and high-throughput genomic DNA extraction method for the molecular ecology of zooplanktonic diapausing eggs. *Limnology and Oceanography: Methods*, 6, 218–222.
- Moreno, D. (2014). *Diagnóstico ambiental del parque ecoturístico Presa el Llano, Villa del Carbón, Edo. de Mex.* Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Morrone, J. (2013). *Sistemática: Fundamentos, métodos, aplicaciones*. México: UNAM, Facultad de Ciencias.
- Muñoz, M., Otero, A., Medina, V. M. y Cruz, P. (2013). Comportamiento reproductivo de *Alona* sp. y *Diaphanosoma* sp. (Crustácea: cladóceras) bajo diferentes fotoperiodos. *Revista Lasallista de Investigación*, 10 (2), 17-24.
- Muñoz-Colmenares, M. E., Sarma, S. S. S. y Nandini, S. (2017). Seasonal variations of rotifers from the high-altitude Llano reservoir (State of Mexico, Mexico). *Journal of Environmental Biology*, 38, 1171-1181.
- Nandini, S., Enríquez-García, C. y Sarma, S. S. S. (2007a). A laboratory study on the demography and competition of three species of littoral cladocerans from Lake Huetzalin, Xochimilco, México. *Aquatic Ecology*, 41 (4), 547-556.
- Nandini, S., Sarma, S. S. S. y Ramírez-García, P. (2007b). Seasonal variations of zooplankton from a drinking water reservoir (Valle de Bravo) in Mexico. En: B. L. Kaul (Eds.), *Advances in Fish and Wildlife Ecology and Biology Vol. 4* (pp. 75-86). Tri Nagar, Delhi: Daya Publishing House.
- Nandini, S., Merino-Ibarra, M. y Sarma, S. S. S. (2008). Seasonal changes in the zooplankton abundances of the reservoir Valle de Bravo (State of Mexico, Mexico). *Lake and Reservoir Management*, 24 (4), 321-330.

- Nava, M., Bengoña, A., Socorro, M. y Ramon, E. (1998). *Guía de Ciencias Sociales*. Ciudad de México: Instituto Nacional para la Educación de los Adultos, INEA.
- Núñez-Ortiz, A. R., Nandini, S. y Sarma, S. S. S. (2021). Prey preference of *Stenostomum* cf. *virginianum* Nuttycombe, 1931 (Platyhelminthes); a case study in the littoral zone of a tropical reservoir. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 3 (36), 10.
- Orlova-Bienkowskaja, M., (1995a). Revizija gruppy vidov *Simocephalus* (*serrulatus*) (Crustacea: Anomopoda: Daphniidae). *Zoologicheskii Zhurnal*, 74: 57-71.
- Orlova-Bienkowskaja, M., (1995b). A revision of *Simocephalus* (*latirostris*) species group (Crustacea: Anomopoda: Daphniidae). *Hydrobiologia*, 316, 43-58.
- Orlova-Bienkowskaja, M. J. (1998). A revision of the cladoceran genus *Simocephalus* (Crustacea: Daphniidae). *Bulletin of the Natural History Museum of London (Zoology)*, 64 (1), 1-62.
- Orlova-Bienkowskaja, M. (2001). *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Cladocera: Anomopoda. Daphniidae: genus Simocephalus*. Paises Bajos: Backhuys Publishers, Leiden.
- Paggi, J. C. (2004). Importancia de la fauna de “Cladóceros” (Crustácea, Branchiopoda) del Litoral Fluvial Argentino. Instituto Superior de Correlación Geológica. *Serie Miscelánea*, 12, 239-246.
- Pérez, I. A. (2015). *Evaluación de la concentración de metales en sedimentos de la Laguna de Chimaliapan, Lerma Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. Estado de México.
- Pérez-Morales, A., Sarma, S. S. S., Nandini, S., Espinosa-Rodríguez, C. A. y Rivera-De la Parra, L. (2020). Demographic responses of selected rotifers (Rotifera) and cladocerans (Cladocera) fed toxic *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria). *Fundamental and Applied Limnology*, 193 (3), 261-274.
- Prieto, M. (2001). Aspectos reproductivos del cladócero *Moinodaphnia* sp. en condiciones de laboratorio. *Revista MVZ Córdoba*, 6 (2), 102-110.

- Prosser, S., Martinez, A. y Elías-Gutiérrez, M. (2013). A new set of primers for COI amplification from freshwater microcrustaceans. *Molecular Ecology Resources*, 13 (6), 1151-1155.
- Rajoy, C. R. (2015). *Cultivo de crustáceos*. Tesis de maestría. Universidad Europea Miguel de Cervantes. Trelew, Argentina.
- Ramírez, F. (1981). Cladóceras. En: D. Boltovskoy (Eds.) *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino* (pp. 533-542). Argentina: Instituto Nacional de investigación y Desarrollo Pesquero (INDEP).
- Rivera-De la Parra, L., Sarma, S., y Nandini, S. (2016). Effects of predation by *Hydra* (cnidaria) on cladocerans (crustacea: Cladocera). *Journal of Limnology*, 75, 39-47.
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México Ira. Edición digital*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sacherová, V. y Hebert, P. N. D. (2003). The evolutionary history of the Chydoridae (Crustacea: Cladocera). *Biological Journal of the Linnean Society*, 79, 629–643.
- Sala, J., García-de-Lomas, J. y Alonso, M. (2015). Orden Anomopoda. *Revista IDE@-SEA*, 66, 1-11.
- Santos-Medrano, G. E. y Rico-Martínez, R. (2017). Acute sensitivity comparison among *Daphnia magna* Straus, 1820 *Daphnia pulex* Leydig, 1860 and *Simocephalus vetulus* Müller, 1776, exposed to nine toxicants. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19 (7), 615-623.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: INE, SEMARNAT.
- Sarma, S. S. S., Osyana-Espinosa, L. R., Aguilar-Acosta, C. R. y Nandini, S. (2011). Seasonal variations in zooplankton abundances in the Iturbide reservoir (Isidro Fabela, State of Mexico, Mexico). *Journal of Environmental Biology*, 32 (4), 473-480.
- Smirnov, N. N. (2017). *Physiology of the Cladocera, Second Edition*. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos: Academy Press.

- Shi, X., Xu, S., Xue, C., Huang, X., Liu, G. y Zhao, Y. (2011). Discovery of males of *Simocephalus himalayensis* (Cladocera: *Simocephalus*), with the redescription of females. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 29 (1), 206 -212.
- Shuh-Sen, Y., Mei-Hui, N. y Min-Yun, L. (2012). Systematic study of the *Simocephalus sensu stricto species* group (Cladocera: Daphniidae) from Taiwan by morphometric and molecular analyses. *Zoological Studies*, 51 (2), 222-231.
- Silva-Briano, M., Tiscareño-Sánchez, C. y Sigala-Rodríguez, J. J. (2020). Cladóceros. En: A. Ortega y F. Reyes-Villanueva (Eds.) *La biodiversidad en Zacatecas. Estudio de Estado* (pp. 170-172). México: CONABIO.
- Toyota, K., Miyakawa H., Hiruta, C., Sato, T., Katayama, H., Ohira, T. y Iguchi T. (2021). Sex determination and differentiation in Decapod and Cladoceran Crustaceans: An overview of endocrine regulation. *Genes (Basel)*, 12 (2), 305.
- Trejo-Díaz, C. C. y Tejero-Diez, J. D. (2017). Flora de plantas vasculares en la sierra de Las Ánimas, Chapa de Mota, Estado de México, México. *Polibotánica*, 43, 1-35.
- Tricart, J. (1985). *Pro-lagos: Los lagos del Eje Neovolcánico de México*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valderrama, J. C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10, 109-122.
- Valdez-Moreno, M., Mendoza-Carranza, M., Rendón-Hernández, E., Alarcón-Chavira, E. y Elías-Gutiérrez, M. (2021). DNA Barcodes applied to a rapid baseline construction in biodiversity monitoring for the conservation of aquatic ecosystems in the Sian Ka'an Reserve (Mexico) and adjacent areas. *Diversity*, 13 (7), 292.
- Vázquez, H. (2004). *Preferencias de hábitat por la avifauna presenta en la laguna Chimaliapan, Ciénagas del Lerma, Lerma, Estado de México*. Tesis de maestría. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.
- Vázquez-Hernández, S. (2016). *Diversidad de Cladóceros en la "Zona Ecológica Reserva del Pedregal San Ángel (REPSA)", Cantera Oriente, Ciudad Universitaria, México*.

Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.

Vidal, R. (2005). *Las regiones climáticas de México*. México: Instituto de Geografía, UNAM.

Villalobos, J. L., Enríquez, C., Botello, A. y Álvarez, F. (2007). Crustáceos. En A. Lot (Eds.), *Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización Ambiental e Inventario Biológico* (pp. 161-177). Ciudad de México: Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Weber, C. I. (1993). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms (4th ed.)*. Cincinnati, Ohio: U. S. Environmental Protection Agency.

Wetzel, R. G. y Likens, G. E. (2000). Collection, Enumeration, and Biomass of Zooplankton. En R. G. Wetzel y G. E. Likens (Eds.), *Limnological Analyses* (pp. 175-188). New York: Springer New York.

Wojewódka, M., Sinev, A. Y. y Zawisza, E. (2020). A guide to the identification of subfossil non-chydorid Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) from lake sediments of Central America and the Yucatan Peninsula, Mexico: part I. *Journal Paleolimnol*, 63, 269-282.

Xiang, X., Ji, G., Chen, S., Yu, G., Xu, L., Han, B., Kotov, A. y Dumont, H. (2015). Annotated Checklist of Chinese Cladocera (Crustacea: Branchiopoda). Part I. Haplopoda, Ctenopoda, Onychopoda and Anomopoda (families Daphniidae, Moinidae, Bosminidae, Ilyocryptidae). *Zootaxa*, 3904, 1-27.

Xolalpa, F. (2009). *Monitoreo quincenal de clorofila a y parámetros fisicoquímicos en tres localidades de los canales de Xochimilco (el Bordo, la Virgen y el Japón) período 11 de agosto al 3 de noviembre 2008*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

Yoon, S. M. y Won, K. (2000). Taxonomic review of the cladoceran genus *Simocephalus* (Branchiopoda, Anomopoda, Daphniidae) in Korea, with redescription of *Simocephalus mixtus*. *Korean Journal of Limnology*, 33 (2), 152-161.

Zhi-Qiang, Z. (2011). *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. New Zealand: Magnolia Press.

Anexos

ANEXO 1

Descripción morfológica del género *Simocephalus* (Orlova-Bienkowskja, 2001)

HEMBRAS ADULTAS: Las hembras partenogenéticas poseen un largo que varía de 0.86 mm hasta los 3.46 mm, mientras que las hembras con epípio presentan tamaños que van desde los 1.24 mm hasta los 1.90 mm. Otros rasgos morfológicos de importancia taxonómica (Figura 34) son:

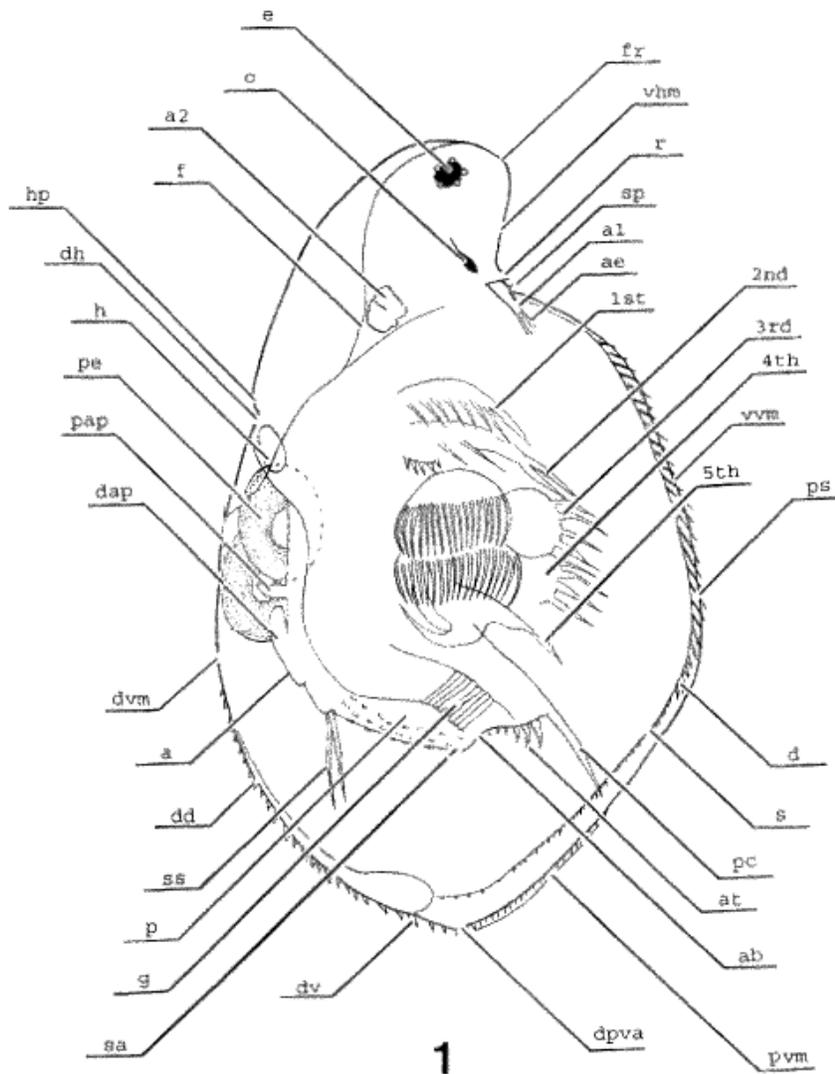


Figura 34. Esquema general de la morfología de una hembra del género *Simocephalus*. a – abdomen, ab – bahía anal, ae- estetascos, at – dientes anales, al – anténulas, a2 – base de las antenas, d – dentículos de la superficie interna del ángulo valvar ventral-posterior, dap – proceso abdominal distal, dd- dentículos del margen de la valva

dorsal, dh – depresión de la protección del talón entre la cabeza y las valvas, dpva – ángulo valvar dorso-posterior, dv – punto de divergencia de las valvas, dmV – margen de la valva dorsal, e – ojo nauplio, f - fornices, fr – parte frontal de la cabeza, g – intestino, h – corazón, hp – lugar de los poros de la cabeza, o – ocelo, p – postabdomen, pap – procesos abdominal proximal, pc – garra postabdominal, pe – huevos partenogenéticos, ps – setas plumosas de la superficie interna del margen valvar, pvm – margen valvar posterior, r – rostro, s – setulas de la superficie interior del margen valvar posterior, sa – ángulo supra anal, sp – papila sensorial de las anténulas, ss – seta sensorial, vhm – margen ventral de la cabeza, vvm – margen ventral valvar, 1st - extremidad torácica 1, 2nd – extremidad torácica 2, 3rd – extremidad torácica 3, 4th – extremidad torácica 4 y 5th – extremidad torácica 5 (Orlova-Bienkowskja, 2001).

Valva. Presenta un margen posterior oblicuo casi recto (pvm), su punto de divergencia (dv) está situado en el ángulo dorso-posterior (dpva). Los márgenes dorsales, posteriores y ventrales se encuentran adornados con dentículos o en algunos casos, son lisos. Estos dentículos están arraigados en dos filas a lo largo del margen dorsal (dd); la superficie de la valva interna esta provista de una fila de setas plumosas en su margen ventral (ps), así como una fila de setas en el margen posterior (s). De igual manera, presenta de 2 a 5 dentículos plumosos cerca del ángulo ventro-posterior (d). La valva y la cabeza son reticuladas, esta reticulación está compuesta de rayas oblicuas insertadas una sobre la otra hasta cierto punto en la mayor parte del caparazón y la cabeza. Los polígonos tienden a ocurrir a lo largo del margen de la valva, así como enfrente de los ojos. Las hembras partenogenéticas pueden acarrear de 1 a 30 huevos en su cámara embrionaria.

Cabeza. Es pequeña y notablemente delimitada por una depresión en su lado dorsal (dh), el rostro siempre es puntiagudo, largo o moderadamente elongado; la parte frontal de la cabeza (fr) es redondeada, puntiaguda o de ángulo recto con o sin dentículos. El margen ventral de la cabeza (vhm) está provisto de una depresión (profunda o superficial) situada cerca del rostro, la cual, presenta fornices amplios (f). La parte posterior de la cabeza lleva tres principales poros conectados transversalmente orientados, así como dos diminutos poros. Siempre tiene la presencia de un ocelo (e, o), así como mandíbulas, maxilas y labro.

Anténulas (AI). Son tubulares, con nueve estetascos en el extremo terminal y una papila sensorial próxima implantada.

Antenas (AII). Son relativamente cortas, los extremos de los segmentos distales solo llegan a la mitad de las valvas; la parte proximal del basipodito lleva dos setas. El lado exterior de parte distal esta provisto de una seta, mientras que el lado interior de la parte distal lleva una espina. La rama superior (exópodo) de la antena está compuesta por cuatro segmentos, mientras que

la rama inferior (endópodo) por tres segmentos cilíndricos. El segundo segmento del exópodo presenta una pequeña espina, el tercer segmento una seta y el cuarto tres setas (una más pequeña que las otras); el primer y segundo segmento del endópodo presentan una seta, mientras que el tercero tiene tres setas.

Toracópodo I. El exopodito es elongado y presenta tres setas: primeramente, una seta larga indistintamente segmentada cubierta con largas sétulas, después una seta larga segmentada con pequeñas sétulas o dentículos (solamente en un lado de la parte distal) y finalmente una seta muy pequeña no segmentada y plumosa. El endito presenta cuatro prominencias: la prominencia proximal tiene cuatro largas setas que son plumosas y segmentadas, así como una pequeña seta no segmentada (la cual está cubierta con sétulas y dentículos en la parte distal). La segunda y tercera prominencia presentan cada una dos setas largas y una corta. La cuarta prominencia, que es distal, tiene una seta plumosa bastante larga, una seta muy pequeña, lisa y no segmentada, así como otra larga seta cubierta con sétulas o dentículos a lo largo de su parte distal. De igual manera, esta extremidad presenta dos setas con ganchos, la parte distal se encuentra cubierta con dentículos en su lado cóncavo, mientras que la base se encuentra cubierta de largas sétulas.

Toracópodo II. El exopodito es alargado, con dos largas setas plumosas y segmentadas. El endito presenta cuatro prominencias: la prominencia proximal que tiene una seta larga, plumosa y segmentada, así como una seta corta, lisa y no segmentada. La segunda y tercera prominencia tienen una seta lisa, la cual se utiliza como carácter diagnóstico. La prominencia distal presenta dos largas y plumosas setas segmentadas, además de una seta pequeña, lisa y no segmentada. De igual manera, hay la presencia de un pequeño gancho y un dentículo que se sitúan proximales a la primera prominencia del endito.

Toracópodo III. El exopodito es amplio, con setas anchas de seis segmentos. De la primera a la cuarta seta, presentan sétulas en toda su longitud, mientras que de la quinta a la sexta seta hay la presencia de sétulas a lo largo de un solo lado de la zona basal; cabe mencionar que la parte distal de la quinta seta es curvada. El endito presenta cuatro prominencias: la primera y segunda presentan una seta corta, lisa y no segmentada, así como cuatro y dos setas plumosas y segmentadas. La tercera y cuarta prominencia tienen un par de setas plumosas no segmentadas.

Toracópodo IV. Tiene una estructura similar al de la extremidad torácica III, el exopodito presenta seis setas anchas y segmentadas; de la primera a la quinta seta, tienen sétulas a lo largo de su longitud, mientras que la sexta seta es plumosa solo en su parte basal, ya que la parte distal es lisa. El endito presenta solo una prominencia, la cual a su vez presenta una única seta plumosa y ancha.

Toracópodo V. El exopodito se encuentra dividido en dos lóbulos, uno de ellos está dirigido al epipodito y lleva una seta larga, plumosa y segmentada, la cual se extiende a lo largo del epipodito. Otro lóbulo está dirigido hacia el endito y presenta una seta plumosa, corta y ancha, así como una seta delgada, corta y lisa, la cual no está segmentada; el endito tiene una prominencia provista de una única seta larga y plumosa. El prepipodito está bien desarrollado y cubierta de largas sétulas.

Postabdomen. Es alto en una dimensión dorsoventral, tiene una bahía anal marcada (ab), un ángulo supra anal (sa), así como dos filas de dientes anales (at). Algunas veces se presenta un segundo ángulo supra anal proximal al primero. Los dientes anales distales son grandes y están cubiertos de sétulas, mientras que los dientes anales proximales son pequeños y lisos, presentando en la parte dorsal grupos de sétulas. Las garras post abdominales (pc) son largas, ligeramente curvadas y con dos filas de sétulas y/o espinas en su lado cóncavo. El ano (ab) está situado dentro de la bahía anal. Por otra parte, el abdomen suele tener dos procesos (pap, dap); primeramente, el proceso proximal tiene forma de pera y siempre está presente, mientras que el proceso distal puede estar parcial o totalmente reducido; el tamaño y forma de estos procesos son variables.

Efipio. Es oscuro, casi triangular y contiene un huevo; su cubierta presenta una reticulación caracterizada por tener pequeñas prominencias que están encimadas en las puntas. Los fondos del saco en las hembras efipias sobresalen dorsalmente en el área del corazón. Los poros de la cabeza y la prominencia en esta área son generalmente más grandes que en las hembras partenogénicas. Finalmente, el ángulo valvar dorso-posterior no presenta prominencia, ni dentículos en el margen dorsal ni el en ángulo dorso-posterior.

MACHOS ADULTOS: Típicamente presentan un largo que va de 0.96 a los 1.28 mm. Al igual que las hembras, otros rasgos morfológicos de importancia taxonómica son:

Valva. Es casi de forma triangular, con una altura máxima situada en su parte distal, el margen dorsal es recto, mientras que el ventral tiene un ensanchamiento anterior. La prominencia en el ángulo valvar dorsal-posterior está menos expresado que en las hembras. De igual manera presenta una reticulación compuesta de franjas oblicuas en la parte media de las valvas, así como de 3 a 4 filas de polígonos a lo largo del margen dorsal.

Poros de la cabeza. Son de 1.5 a 2 veces más grandes que en las hembras partenogénicas.

Anténulas (AI). Son más cortas y distendidas que en las hembras, además presentan dos papilas sensitivas proximales.

Toracópodo I. Se diferencia del de las hembras en la estructura del cuarto endito, esta prominencia lleva una seta ancha, corta y cubierta de sétulas en su parte distal; además presentan tres setas cortas, finas y lisas; otra característica es que presenta un montículo redondo cubierto de dentículos y un gancho con un dentículo en su extremo.

Toracópodo II. Tiene el mismo número de prominencia y setas que en las hembras, sin embargo, la diferencia radica en que las setas de la segunda, tercera y cuarta prominencia endital son más largas que la base de la seta plumosa de la primera prominencia y, además, son curvadas en el extremo y provistas de una fila de dentículos a lo largo de la parte distal de su lado cóncavo.

Postabdomen. Es más bajo que en las hembras, los vasos deferentes se abren en el ángulo supra anal o se abren distalmente; además presentan menos dientes anales, así como carecer de procesos abdominales.

ANEXO 2

Descripción morfológica de los diferentes subgéneros de *Simocephalus* (Orlova-Bienkowskja, 2001)

Simocephalus s. str.: Este subgénero se caracteriza ya que tanto hembras como machos presentan la parte frontal de su cabeza redondeada, además tienen la ausencia de dentículos, así como de una depresión en el escudo cefálico, sin embargo, si presenta poros. La inserción de las anténulas se encuentra situada en la base del rostro, las anténulas cortas están en correspondencia con un rostro corto, las cuales no presentan crestas ni dentículos en el lado interno; cabe destacar que los estetascos son más largos que la base de las anténulas. Las garras post abdominales no tienen pecten diferenciados, pero sí sétulas finas en el lado interior y exterior de estas. El margen anal del postabdomen es estrecho, redondeado y presenta dientes anales. La especie tipo para este subgénero es *Simocephalus vetulus* (Orlova-Bienkowskaja 2001).

Simocephalus (Echinocaudatus): En ambos sexos, la parte frontal de la cabeza es redondeada o puntiaguda, sin la presencia de dentículos, pero sí de poros, mientras que el escudo cefálico no presenta depresión. La inserción de las anténulas se da en la base del rostro, estas pueden ser largas o cortas dependiendo si el rostro es largo o corto respectivamente, estas no tienen crestas ni dentículos en su lado interno. Los estetascos son más largos que la base de las anténulas. Por su parte, la garra postabdominal presenta un pecten proximal de espinas en su lado externo, ya que el lado interior y la región distal del lado exterior presenta sétulas finas. El margen anal del postabdomen es estrecho, redondeado y tiene dientes anales. La especie tipo para este subgénero es *Simocephalus exspinosus* (Orlova-Bienkowskaja, 1998).

Simocephalus (Acutirostratus): En hembras, la parte frontal de la cabeza es puntiaguda, mientras que el margen ventral es cóncavo, tienen un rostro largo. Las sétulas se encuentran en el lado interno del margen valvar posterior, el ángulo de valva dorso-posterior puede carecer de alguna prominencia o bien, cuando se presenta, es redondeada. Tiene dos ángulos supra anales, mientras que el pecten basal de su garra postabdominal se caracteriza por poseer de 10 a 15 espinas grandes, estrechamente opuestas, que aumentan de tamaño de manera considerable. Cabe destacar que los machos son desconocidos y la especie tipo para este subgénero es *Simocephalus acutirostratus* (Orlova-Bienkowskaja, 1998).

Simocephalus (Coronocephalus): De igual manera, en el caso de hembras y machos, este subgénero se caracteriza por presentar la parte frontal de su cabeza en ángulo recto, con o sin dentículos dependiendo de la especie. El escudo cefálico no presenta depresión alguna, así como también de poros. La inserción de las anténulas se da al final del rostro, estas son cortas en correspondencia con un rostro corto, además presentan crestas transversales cubiertas con dentículos en el lado interno. A diferencia de los tres subgéneros anteriores, los estetascos son más cortos que la base de las anténulas. La garra postabdominal presenta espinas en la parte proximal del lado externo y del lado interno, mientras que la parte basal del lado exterior tiene sétulas finas. Finalmente, cabe destacar que el margen anal del postabdomen es estrecho, redondeado y con dientes anales. La especie tipo en este caso se trata de *Simocephalus serrulatus* (Orlova-Bienkowskaja, 1995a).

Simocephalus (Aquipiculus): Finalmente, los organismos de este subgénero se caracterizan por presentar la parte frontal de su cabeza redondeada, la cual no presenta dentículos. El escudo de la cabeza se encuentra deprimido o bien, aplanado en el medio, además de la presencia de poros. La inserción de las anténulas se da en la base del rostro, estas son largas lo cual corresponde a su rostro largo, además no presentan crestas ni dentículos en el lado interno. Las estetascos son más cortos que la base de las anténulas; por otra parte, las garras post abdominales no tienen pecten de espinas, sin embargo, en el lado interior y exterior, si presenta sétulas finas. Por otra parte, la bahía anal del postabdomen se encuentra enderezada en el medio mientras que su parte proximal no presenta dientes anales; la especie tipo para este subgénero es *Simocephalus latirostris* (Orlova-Bienkowskaja, 1995b).

ANEXO 3

Fotografías de los diferentes sitios de muestreo visitados en el periodo 2022-2



Figura 35. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en el embalse Presa Benito Juárez.



Figura 36. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en el embalse Presa Del Llano.



Figura 37. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en lago Zempoala.



Figura 38. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en el lago Tonatiahua.



Figura 39. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en la Cantera Oriente.



Figura 40. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en la laguna Salazar.



Figura 41. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en la laguna Chimaliapan.



Figura 42. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en el bordo de Chapa de Mota.



Figura 43. Fotografías de tomas de muestras y sitio de muestreo en los canales de Xochimilco.

ANEXO 4

Tabla 7. Datos obtenidos de BOLD Systems para la construcción de las filogenias consenso.

Process ID	Genero	Especie	Colectores	LAT	LON	Pais	Estado	Sitio Exacto
BACZP397-16	Simocephalus	Simocephalus serrulatus	Manuel Elias Gutiérrez, Ana Martínez Caballero & Rahuel Chan Chable	19.481	-98.191	Mexico	Tlaxcala	Chipila
BACZP455-16	Simocephalus		Manuel Elias Gutiérrez & Jose Angel Cohuo Colli	19.468	-98.286	Mexico	Tlaxcala	Cacaxtla
CTM128-10	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus	Martha Valdez-Moreno & Carolina Quintal-Lizama	17.89	-90.819	Mexico	Campeche	Las Golondrinas
GBCB2294-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	
GBCB2295-13	Simocephalus		Marcelo Silva Briano	22.148	-102.346	Mexico	Aguascalientes	
GBCB2296-13	Simocephalus		Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	
GBCB2297-13	Simocephalus		Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	
GBCB2298-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	
GBCB2299-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.231	-99.503	Mexico	Mexico State	
GBCB2300-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	
GBCB2301-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.231	-99.503	Mexico	Mexico State	
GBCB2302-13	Simocephalus		Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	
GBCB2304-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	
GBCB2305-13	Simocephalus		Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico		
GBCB2306-13	Simocephalus		Marcelo Silva Briano	22.148	-102.346	Mexico	Aguascalientes	
GBCB2310-13	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias-Gutierrez	19.67	-99.849	Mexico	Mexico State	
GBCB2311-13	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Marcelo Silva Briano	22.26	-102.419	Mexico	Aguascalientes	
GBCB2314-13	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias-Gutierrez	18.641	-90.296	Mexico	Campeche	
GBCB2315-13	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias-Gutierrez	18.641	-90.296	Mexico	Campeche	
GBCB2316-13	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias-Gutierrez	18.641	-90.296	Mexico	Campeche	
GBCB2418-13	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	19.462	-99.78	Mexico	Mexico State	
GBCB2420-13	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus	Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	18.498	-88.393	Mexico	Quintana Roo	Laguna Negra, littoral 2
GBCB2421-13	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus	Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	18.498	-88.393	Mexico	Quintana Roo	Laguna Negra, littoral 2
SKAAN042-19	Simocephalus		Manuel Elias Gutierrez, Georgina Prisco Pastrana, Sergio Chay Kumul	19.604	-88.003	Mexico	Quintana Roo	Cenote del Padre
SKAAN043-19	Simocephalus		Manuel Elias Gutierrez, Georgina Prisco Pastrana, Sergio Chay Kumul	19.604	-88.003	Mexico	Quintana Roo	Cenote del Padre
SKAAN414-19	Simocephalus		Manuel Elias Gutierrez, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	20.06	-87.576	Mexico	Quintana Roo	Laguna Chunyaxche 2
SKAAN493-19	Simocephalus		Manuel Elias Gutierrez, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	20.06	-87.576	Mexico	Quintana Roo	Laguna Chunyaxche 2
SKAAN580-19	Simocephalus		Manuel Elias Gutierrez, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	20.069	-87.594	Mexico	Quintana Roo	Laguna Muyil 1
SKAAN707-19	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus	Martha Valdez Moreno, Erika Alarcon Chavira	19.098	-88.021	Mexico	Quintana Roo	Cenote El Toro
SKAAN779-19	Simocephalus		Manuel Elias, Gutierrez, Georgina Prisco Pastrana, Sergio Chay Kumul, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	19.943	-87.794	Mexico	Quintana Roo	Cenote Km 48
SKAAN810-19	Simocephalus		Manuel Elias, Gutierrez, Georgina Prisco Pastrana, Sergio Chay Kumul, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	19.943	-87.794	Mexico	Quintana Roo	Cenote Km 48
ZMIII831-12	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus sp.2NA	Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	18.498	-88.393	Mexico	Quintana Roo	Laguna Negra, littoral 2
ZMIII986-12	Simocephalus	Simocephalus sp.	Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	19.462	-99.78	Mexico	Mexico State	Ignacio Ramirez Dam, littoral
ZPIII1174-11	Simocephalus	Simocephalus sp.	Manuel Elias-Gutierrez	19.887	-99.739	Mexico	Mexico State	Pond in Timilpan
ZPIII1327-11	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez	19.887	-99.739	Mexico	Mexico State	Pond in Timilpan
ZPIII1329-11	Simocephalus	Simocephalus sp.	Manuel Elias-Gutierrez	19.887	-99.739	Mexico	Mexico State	Pond in Timilpan
ZPII1212-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martínez Jeronimo	19.231	-99.503	Mexico	Mexico State	Chimalapan
ZPII1581-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	Valsequillo
ZPII1710-07	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias-Gutierrez	19.67	-99.849	Mexico	Mexico State	Los Banos
ZPII1711-07	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias-Gutierrez	19.67	-99.849	Mexico	Mexico State	Los Banos
ZPII1712-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	Cuemanco
ZPII1715-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	Cuemanco
ZPII1716-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martínez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	Cuemanco
ZPII1758-11	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias-Gutierrez	18.641	-90.296	Mexico	Campeche	Silvituc lagoon
ZPII1762-11	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias-Gutierrez	18.641	-90.296	Mexico	Campeche	Silvituc lagoon
ZPII1768-11	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias-Gutierrez	18.641	-90.296	Mexico	Campeche	Silvituc lagoon
ZPII1833-11	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Marcelo Silva Briano	22.26	-102.419	Mexico	Aguascalientes	Pond behind a
ZPII1958-11	Simocephalus	Simocephalus sp.	Marcelo Silva Briano	22.148	-102.346	Mexico	Aguascalientes	El Canal pond
ZPII1959-11	Simocephalus	Simocephalus sp.	Marcelo Silva Briano	22.148	-102.346	Mexico	Aguascalientes	El Canal pond
ZPLIV644-11	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	18.498	-88.443	Mexico	Quintana Roo	Wetland in Puente Milagros
ZPLMX060-06	Simocephalus	Simocephalus cf. mixtus	Fernando Martínez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX061-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Fernando Martínez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX296-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Fernando Martínez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX306-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias, Martha Valdez	19.67	-99.849	Mexico		Los Banos

ZPLMX492-06	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias, Martha Valdez	26.789	-101.992	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 5
ZPLMX493-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro A
ZPLMX495-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro A
ZPLMX500-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias	19.664	-99.798	Mexico		Km 47 Toluca-
ZPLMX503-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias	19.664	-99.798	Mexico		Km 47 Toluca-
ZPLMX836-06	Simocephalus	Simocephalus serrulatus	Tania Garfias Espejo	27.817	-109.901	Mexico	Sonora	Chiculil 2
ZPLMX858-06	Simocephalus	Simocephalus cf.	Tania Garfias Espejo	27.806	-109.899	Mexico	Sonora	Chiculil 1
ZPLMX898-06	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Manuel Elias & Martha Valdez	26.791	-101.994	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 2
ZPLMX899-06	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Manuel Elias & Martha Valdez	26.791	-101.994	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 2
ZPLV483-18	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez, Angelica Camara-Castro, Thomas Goldschmidt	18.938	-88.156	Mexico	Quintana Roo	Bacalar Lake (Uch Ben Kah)
BACZP426-16	Simocephalus	Simocephalus serrulatus	Manuel Elias Gutierrez, Ana Martinez Caballero & Rahuel Chan Chable	19.481	-98.191	Mexico	Tlaxcala	Chipila
GBCB2303-13	Simocephalus		Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	
GBCB2307-13	Simocephalus		Marcelo Silva Briano	22.148	-102.346	Mexico	Aguascalientes	
GBCB2308-13	Simocephalus		Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	
GBCB2309-13	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Marcelo Silva Briano	22.26	-102.419	Mexico	Aguascalientes	
GBCB2312-13	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Marcelo Silva Briano	22.26	-102.419	Mexico	Aguascalientes	
GBCB2313-13	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias-Gutierrez	19.67	-99.849	Mexico	Mexico State	
GBCB2317-13	Simocephalus	Simocephalus cf. mixtus	Fernando Martinez Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico	Mexico State	
GBCB2419-13	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	19.462	-99.78	Mexico	Mexico State	
SKAAN713-19	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus	Martha Valdez Moreno, Erika Alarcon Chavira	19.098	-88.021	Mexico	Quintana Roo	Cenote El Toro
SKAAN725-19	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus	Martha Valdez Moreno, Erika Alarcon Chavira	19.098	-88.021	Mexico	Quintana Roo	Cenote El Toro
SKAAN783-19	Simocephalus		Manuel Elias, Gutierrez, Georgina Prisco Pastrana, Sergio Chay Kumu, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	19.943	-87.794	Mexico	Quintana Roo	Cenote Km 48
SKAAN830-19	Simocephalus		Manuel Elias, Gutierrez, Georgina Prisco Pastrana, Sergio Chay Kumu, Adrian Uh Navarrete, Ivan Canul Palma	19.943	-87.794	Mexico	Quintana Roo	Cenote Km 48
ZMIII736-12	Simocephalus	Simocephalus cf. serrulatus sp.2NA	Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	18.498	-88.393	Mexico	Quintana Roo	Laguna Negra, littoral 2
ZMIII891-12	Simocephalus	Simocephalus sp.	Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	19.462	-99.78	Mexico	Mexico State	Ignacio Ramirez Dam, littoral
ZPIII172-11	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez	19.887	-99.739	Mexico	Mexico State	Pond in Timilpan
ZPIII1470-11	Simocephalus		Manuel Elias-Gutierrez, Alma E. Garcia-Morales & Sergio Cohuo-Duran	18.048	-91.888	Mexico	Campeche	Pond 3, Highway Jonuta-Escarcega
ZPII211-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martinez Jeronimo	19.231	-99.503	Mexico	Mexico State	Chimalapan
ZPII233-07	Simocephalus	Simocephalus cf. mixtus	Fernando Martinez Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico	Mexico State	Bordo San Jeronimo
ZPII580-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	Valsequillo
ZPII582-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	Valsequillo
ZPII583-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	Valsequillo
ZPII584-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Ernesto Mangas Ramirez	18.909	-98.16	Mexico	Puebla	Valsequillo
ZPII713-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martinez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	Cuemanco
ZPII714-07	Simocephalus	Simocephalus sp.	Fernando Martinez Jeronimo	19.284	-99.104	Mexico	Distrito Federal	Cuemanco
ZPII830-11	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Marcelo Silva Briano	22.26	-102.419	Mexico	Aguascalientes	Pond behind a
ZPII832-11	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Marcelo Silva Briano	22.26	-102.419	Mexico	Aguascalientes	Pond behind a
ZPII957-11	Simocephalus	Simocephalus sp.	Marcelo Silva Briano	22.148	-102.346	Mexico	Aguascalientes	El Canal pond
ZPII986-11	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Marcelo Silva Briano	22.375	-102.314	Mexico	Aguascalientes	La Chica dam
ZPLMX119-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfis	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro A
ZPLMX128-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias, Martha Valdez	19.67	-99.849	Mexico		Los Banos
ZPLMX138-06	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias, Martha Valdez	26.789	-101.992	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 5
ZPLMX295-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Fernando Martinez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX297-06	Simocephalus	Simocephalus cf. mixtus	Fernando Martinez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX305-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias, Martha Valdez	19.67	-99.849	Mexico		Los Banos
ZPLMX319-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro A
ZPLMX320-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro A
ZPLMX488-06	Simocephalus	Simocephalus cf.	Manuel Elias, Martha Valdez	26.789	-101.992	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 5
ZPLMX490-06	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Manuel Elias, Martha Valdez	26.789	-101.992	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 5
ZPLMX496-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro A
ZPLMX497-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro B
ZPLMX498-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro B
ZPLMX499-06	Simocephalus	Simocephalus mixtus	Manuel Elias, Tania Garfias	24.515	-104.664	Mexico	Durango	Papasquiaro B
ZPLMX501-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias	19.664	-99.798	Mexico		Km 47 Toluca-
ZPLMX502-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Manuel Elias	19.664	-99.798	Mexico		Km 47 Toluca-
ZPLMX509-06	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Manuel Elias, Martha Valdez	26.791	-101.994	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 3
ZPLMX510-06	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Manuel Elias, Martha Valdez	26.791	-101.994	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 3
ZPLMX592-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Fernando Martinez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX593-06	Simocephalus	Simocephalus exspinosus	Fernando Martinez-Jeronimo	19.419	-99.728	Mexico		Bordo San Jeronimo
ZPLMX835-06	Simocephalus	Simocephalus serrulatus	Tania Garfias Espejo	27.817	-109.901	Mexico	Sonora	Chiculil 2
ZPLMX859-06	Simocephalus	Simocephalus sp.	Tania Garfias Espejo	27.806	-109.899	Mexico	Sonora	Chiculil 1
ZPLMX900-06	Simocephalus	Simocephalus punctatus	Manuel Elias & Martha Valdez	26.791	-101.994	Mexico	Coahuila	Antiguos Mineros 2

ANEXO 5

Cambios ontogénicos presentados en *Simocephalus* cf. *punctatus* de la Cantera Oriente

Para la obtención de ejemplares de la misma edad, se realizó una puesta en un cultivo de *Simocephalus* cf. *punctatus* de hembras lo suficientemente adultas para que tuvieran crías, donde se realizaron 2 filtraciones para la separación de estas. Las fotografías y preparaciones se tomaron en un lapso de cada 5 días, con el fin de documentar los cambios durante un lapso de 45 días.



Figura 44. *Simocephalus* cf. *punctatus* 1 día de vida.



Figura 45. *Simocephalus* cf. *punctatus* 5 días de vida. a) Región anterior; b) región posterior.

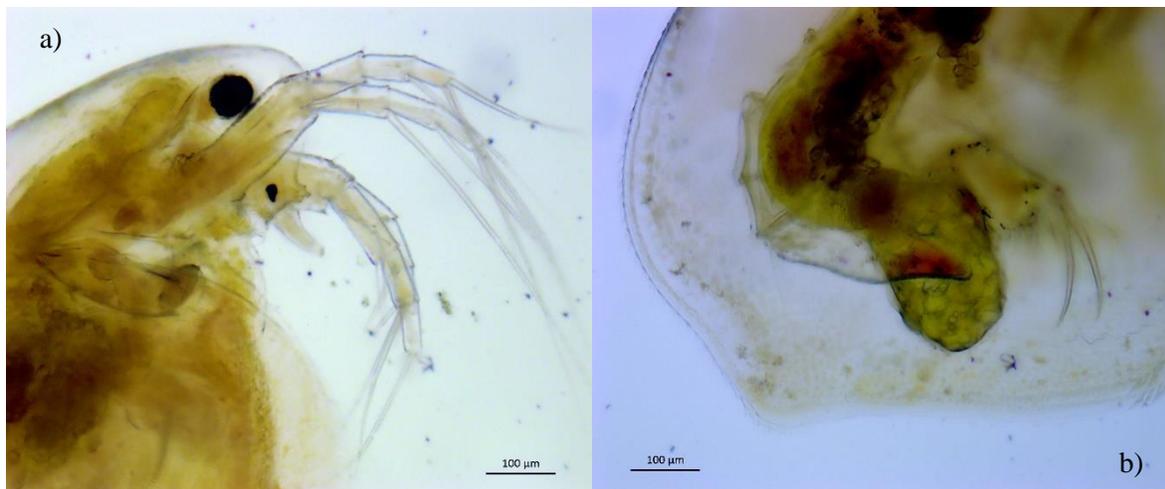


Figura 46. *Simocephalus* cf. *punctatus* 10 días de vida. a) Región anterior; b) margen del ángulo dorso-posterior.

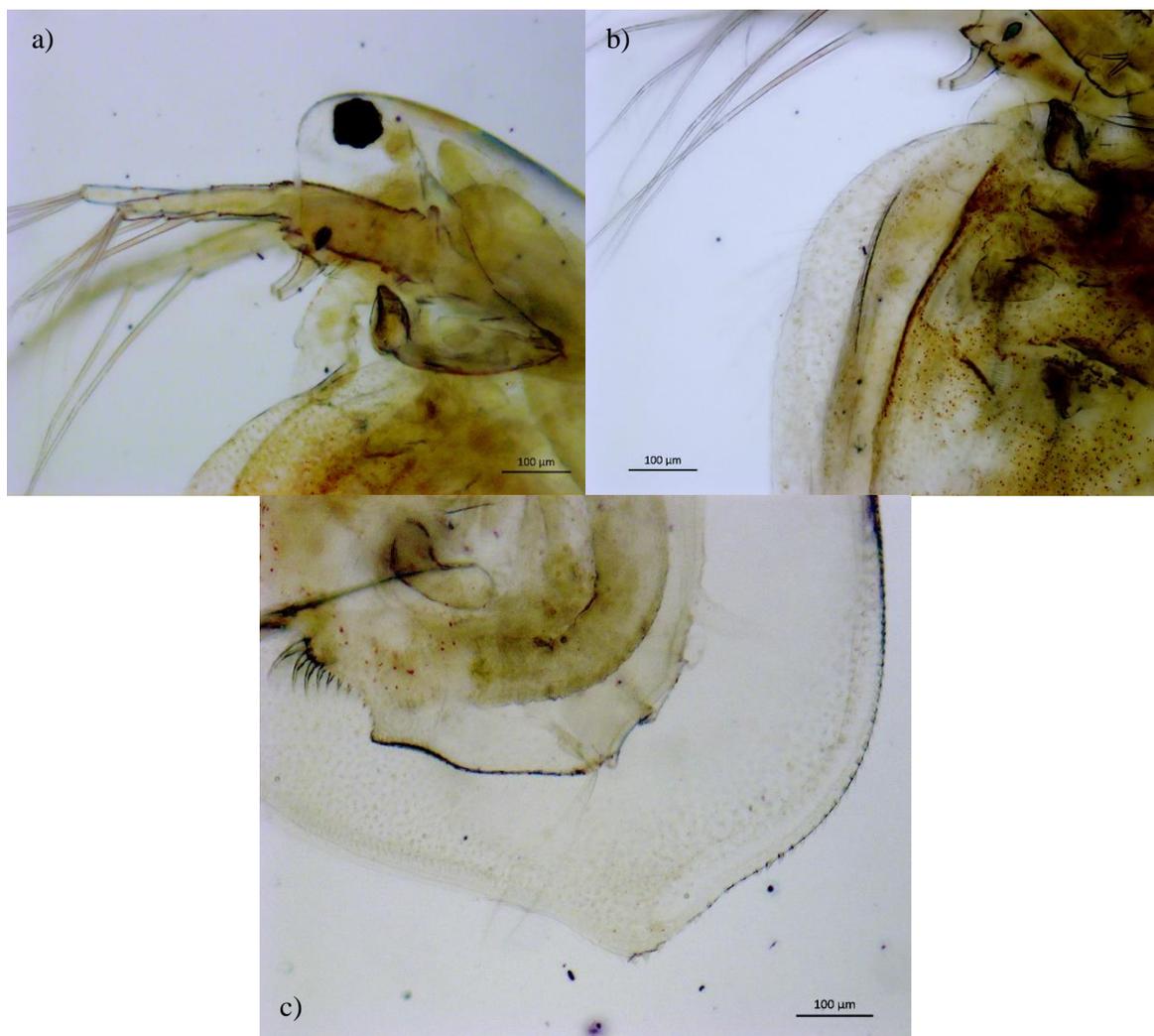


Figura 47. *Simocephalus* cf. *punctatus* 15 días de vida. a) Región cefálica; b) margen del ángulo ventral valvar; c) ángulo dorso-posterior.

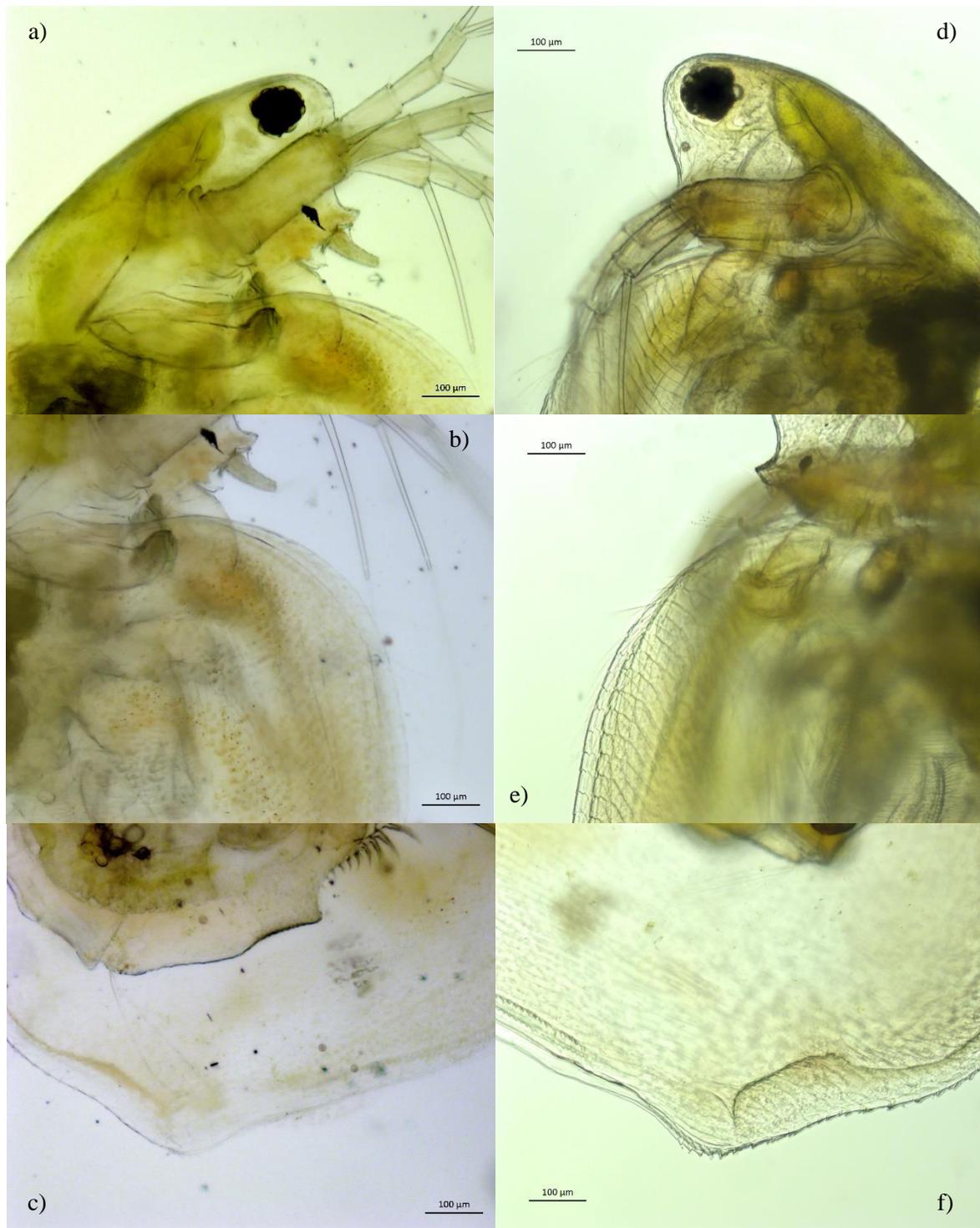


Figura 48. *Simocephalus* cf. *punctatus* de 20 y 25 días de vida. a) Región cefálica de hembra partenogenética de 20 días; b) margen del ángulo ventral valvar de hembra partenogenética de 20 días; c) ángulo dorso-posterior de hembra partenogenética de 20 días; d) región cefálica de hembra partenogenética de 25 días; e) margen del ángulo ventral valvar de hembra partenogenética de 25 días y f) ángulo dorso-posterior de hembra partenogenética de 25 días.

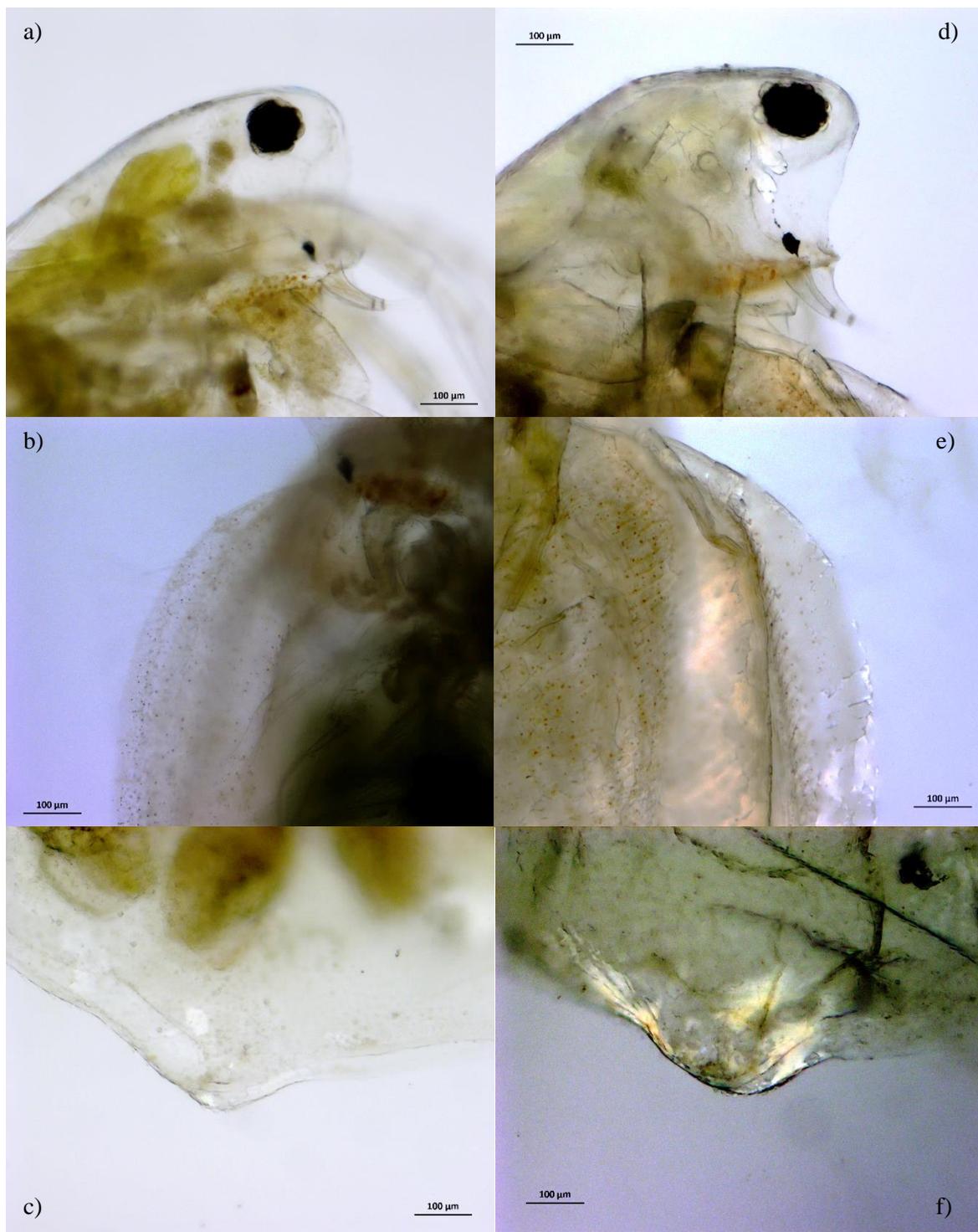


Figura 49. *Simocephalus* cf. *punctatus* de 35 y 45 días de vida. a) Región cefálica de hembra partenogenética de 35 días; b) margen del ángulo ventral valvar de hembra partenogenética de 35 días; c) ángulo dorso-posterior de hembra partenogenética de 35 días; d) región cefálica de hembra partenogenética de 45 días; e) margen del ángulo ventral valvar de hembra partenogenética de 45 días y f) ángulo dorso-posterior de hembra partenogenética de 45 días.