



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: ECOLOGÍA

ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL DE *Potamocypris smaragdina*

(VÁVRA, 1891) (CRUSTACEA: OSTRACODA) Y SU RELACIÓN CON

PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL ACTUAL LAGO DE CHALCO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BONILLA FLORES MAURICIO

TUTOR(A) PRINCIPAL DE TESIS: DR. RER. NAT. LISETH CAROLINA PÉREZ
ALVARADO, INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM.

COMITÉ TUTOR: DRA. MARÍA DEL SOCORRO LOZANO GARCÍA
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DRA. MARGARITA ERNA CABALLERO MIRANDA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

CD. MX. FEBRERO, 2019.



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: ECOLOGÍA

ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL DE *Potamocypris smaragdina*

(VÁVRA, 1891) (CRUSTACEA: OSTRACODA) Y SU RELACIÓN CON

PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL ACTUAL LAGO DE CHALCO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BONILLA FLORES MAURICIO

TUTOR(A) PRINCIPAL DE TESIS: DR. RER. NAT. LISETH CAROLINA PÉREZ
ALVARADO, INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM.

COMITÉ TUTOR: DRA. MARÍA DEL SOCORRO LOZANO GARCÍA

.....DRA. MARGARITA ERNA CABALLERO MIRANDA

MÉXICO, CD. MX. FEBRERO, 2019.

OFICIO CPCB/096/2019

Asunto: Oficio de Jurado para Examen de Grado.

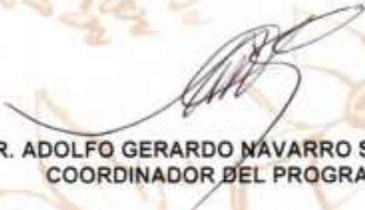
M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted, que el Subcomité de Biología Evolutiva y Sistemática del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día 26 de noviembre de 2018, aprobó el jurado para la presentación de su examen para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **BONILLA FLORES MAURICIO** con número de cuenta **305232128** con la tesis titulada **"ESTRUCTURA Y DINÁMICA POBLACIONAL DE *Potamocypris smaragdina* (VÁVRA, 1891) (CRUSTACEA:OSTRACODA) Y SU RELACIÓN CON PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL ACTUAL LAGO DE CHALCO"**, realizada bajo la dirección de la **DRA. LISETH CAROLINA PÉREZ ALVARADO**:

Presidente: DRA. ROSA LUZ TAVERA SIERRA
Vocal: DR. JOSÉ LUIS VILLALOBOS HIRIART
Secretario: DRA. MARÍA DEL SOCORRO LOZANO GARCÍA
Suplente: DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ
Suplente: DR. GERARDO RIVAS LECHUGA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 28 de enero de 2019.


DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA
COORDINADOR DEL PROGRAMA



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir realizar este trabajo de investigación en las instalaciones del Instituto de Geología.

Al apoyo económico otorgado mediante CONACYT No. de CVU 776277 y registro 607787, otorgado durante el tiempo de estudio. Y por financiar y permitir realizar la estancia de investigación a Instituto de Cavanilles de Biodiversidad, de la Universidad de Valencia, España con la Beca mixta con No de convocatoria 291212.

El estudio fue financiado también por el proyecto PAPIIT IV100215 “Cambio climático y medio ambiente en la historia del lago de Chalco” de la UNAM.

Agradezco de manera especial el apoyo brindado por la Dra. Liseth Pérez Alvarado por asesorar, discutir y mejorar este manuscrito, así como al comité tutorial conformado por la Dra. María del Socorro Lozano García y la Dra. Margarita Caballero Miranda.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Mis sinceros agradecimientos a todos los estudiantes e investigadores que apoyaron en las campañas de colecta, de los Institutos de Geología y Geofísica, así como de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

A los honorables miembros del jurado: Dra. Rosa Luz Tavera Sierra, Dr. José Luis Villalobos Hiriart, Dra. María del Socorro Lozano García, Dr. Alfonso Lugo Vázquez y al Dr. Gerardo Rivas Lechuga por su compromiso en la revisión, correcciones y comentarios constructivos para mejorar el manuscrito.

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por permitir el acceso al cuerpo de agua. Gracias a la M. en C. Berenit Mendoza por dar acceso y tomar fotografías en microscopio electrónico del Instituto de Biología, UNAM. Al Dr. Alexander Correa y al Dr. Juan Felipe Franco por sus comentarios al método estadístico exploratorio y por la enseñanza del uso de instrumentos para la generación de datos de geoquímica de sedimentos.

Al Dr. Francesc Mesquita Joanes y a todo su equipo de trabajo por aceptarme en su laboratorio en la Universidad de Valencia, España con el objetivo de conocer métodos en el estudio de la ecología de poblaciones de ostrácodos dulceacuícolas.

Al Dr. Andrew Escriba, por su apoyo en la realización del método estadístico realizado en el programa Rstudio. A los doctores Ángel Baltanás (Universidad Autónoma de Madrid) por recibirme en su laboratorio y por compartir sus conocimientos sobre morfometría de ostrácodos. Finalmente, a los Claude Meisch (Museo de Historia Natural de Luxemburgo) y Brandon Curry (Universidad de Illinois, USA) por compartir literatura.

A mis compañeros y amigos de laboratorio de paleobioindicadores (Liseth Pérez-Mathias= Lara y Jonas), Fernanda, Paula, Karla, Anais, Montse, Martín, Johanes y Gustavo, Alejandra “parcera”) con quienes compartí buenos y agradables momentos dentro y fuera de nuestra segunda casa, la UNAM

A mis amigos: Margarita Hermoso, Ana Karen Mendoza, Alejandra Flores, a la señora Panchita, al señor Fernando Trejo, Rogelio, Omar y Juan José por siempre Gracias. Finalmente, a todas aquellas personas que por sus enseñanzas y comentarios siempre recibí motivación para concluir la Maestría.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado principalmente a mi Madre Irma, quien me enseñó que la responsabilidad, el compromiso y la constancia genera al final no solo una tesis, sino una mejor persona en todos los ámbitos. Gracias por todo tu apoyo, motivación y amor.

A mi hermana Berenice y a mis sobrinas Vianey y Sofia, quienes fueron pieza importante en motivarme siempre con sus abrazos y sonrisas.

A la Familia Flores López

A la vida misma.

ÍNDICE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. RESUMEN..... | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2.1. Ostrácodos dulceacuícolas..... | 4 |
| 3. OBJETIVOS..... | 7 |
| 3.1. Objetivo general..... | 7 |
| 3.2. Objetivos particulares..... | 7 |
| 4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN..... | 7 |
| 5. ANTECEDENTES..... | 8 |
| 5.1. Estudios sobre aspectos generales en el Lago de Chalco..... | 8 |
| 5.2. Estudios ecológicos sobre los ostrácodos lacustres en México..... | 8 |
| 5.3. Estudios sobre estructura poblacional y ciclos de vida de los ostrácodos lacustres en México y en otras regiones del mundo..... | 9 |
| 6. ÁREA DE ESTUDIO..... | 13 |
| 6.1. Lago de Chalco: Etapas de su formación, pasado y presente..... | 14 |
| 7. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 17 |
| 7.1. Trabajo de campo..... | 17 |
| 7.2. Trabajo de laboratorio..... | 17 |
| 7.3. Análisis numérico..... | 18 |
| 7.3.1. Análisis de caparazones vacíos y valvas separadas..... | 18 |
| 7.3.2. Análisis de organismos con partes blandas..... | 18 |
| 7.3.3. Determinación parcial del ciclo de vida <i>Potamocypris smaragdina</i> (Vávra, 1891)..... | 19 |
| 8. RESULTADOS..... | 21 |
| 8.1. Caracterización física y química del Lago de Chalco..... | 21 |
| 8.2. Nuevos registros de ostrácodos en el Lago de Chalco..... | 25 |
| 8.3. Sistemática y ecología de <i>Potamocypris smaragdina</i> (Vávra, 1891)..... | 25 |
| 8.4. Conteos y mediciones generales..... | 29 |
| 8.5. Conteos y mediciones de las valvas separadas y caparazones vacíos de <i>P. smaragdina</i> | 29 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.6. Estructura poblacional basada en caparazones vacíos y valvas separadas de <i>P. smaragdina</i>..... | 30 |
| 8.7. Proporción sexual de <i>Potamocypris smaragdina</i> basada en organismos con partes blandas..... | 36 |
| 8.8. Relación entre las abundancias de <i>P. smaragdina</i> y los factores ambientales.. | 37 |
| 8.9. Análisis numérico de las variables físicas y químicas en relación con las abundancias de <i>P. smaragdina</i> (organismos con partes blandas) del Lago de Chalco..... | 39 |
| 9. DISCUSIÓN..... | 43 |
| 9.1. Limnología y condiciones ambientales del Lago de Chalco..... | 43 |
| 9.2. Aspectos de distribución y taxonomía de <i>P. smaragdina</i>..... | 45 |
| 9.3. Definición parcial del ciclo de vida de <i>P. smaragdina</i>..... | 46 |
| 9.4. Estructura poblacional y aspectos biométricos de <i>P. smaragdina</i>..... | 47 |
| 9.5. Proporción sexual y dinámica poblacional de <i>P. smaragdina</i> en el Lago de Chalco..... | 50 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 55 |
| 11. LITERATURA CITADA..... | 57 |

1. RESUMEN

El actual Lago de Chalco presenta condiciones eutróficas causadas principalmente por la actividad humana. Ante esta situación se requiere de información actual sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas del lago. Las poblaciones de algunas especies de invertebrados acuáticos son sensibles a cambios ambientales por lo que estudios ecológicos que relacionan sus abundancias con variables ambientales son importantes. Para esto, se realizaron recolectas de sedimentos superficiales por un periodo de doce meses, de marzo de 2015 a mayo de 2016 en un punto de recolecta cerca del centro del lago y de forma conjunta se midieron distintos parámetros físicos y químicos de la columna de agua. Al examinar 10 cm³ de sedimento por cada muestra de cada mes se registraron por primera vez la presencia de tres especies de ostrácodos en el Lago de Chalco: *Candona* sp., *Potamocypris smaragdina* y *P. unicaudata*. La especie de *P. smaragdina* fue la más dominante y abundante (9230 valvas desarticuladas y caparazones vacíos y 474 organismos con caparazón y partes blandas). Esta especie es considerada de amplia distribución en el mundo, sin embargo, a la fecha existen pocos estudios sobre su estructura y dinámica poblacional, por lo que en este trabajo se analizaron dichos aspectos. Se midieron en alto, largo y ancho las valvas desarticuladas, los caparazones vacíos y con partes blandas. Los organismos adultos con partes blandas se sexaron y se determinó la proporción anual de hembras y machos. A partir de las abundancias, se realizaron pruebas de correlación múltiple, Análisis de Componentes principales (ACP) y la aplicación del Modelo Lineal Generalizado (MLG), para entender la relación e influencia de los factores ambientales en la dinámica poblacional de *P. smaragdina*. La estructura poblacional de *P. smaragdina* estuvo conformada por nueve etapas de desarrollo, ocho juveniles de A-8 a A-1, y adultos. A lo largo del año se encontraron machos y hembras, lo que indicó que la población de *P. smaragdina* en Chalco presenta una reproducción sexual. Considerando las medidas y características morfológicas de las valvas las hembras son en promedio más largas (601 µm), altas (310 µm) y anchas (226 µm) que los machos (535 µm, 275 µm, 206µm,) respectivamente, aunque no presentaron un dimorfismo sexual tan marcado. Por otra parte, se reconoció que las abundancias de *P. smaragdina* tuvieron una relación positiva con las concentraciones de oxígeno ($r=0.56$), mismo que se corroboró con el análisis GLM ($p < 0.05$). Asimismo, en este estudio se encontró que factores como la conductividad, pH y concentraciones de sulfatos en el agua tuvieron una relación negativa con las abundancias de *P. smaragdina*, sin embargo, es conveniente realizar estudios con organismos de dicha especie en condiciones de laboratorio y realizar bioensayos para evaluar su tolerancia ante los factores estresantes reconocidos en este estudio. Finalmente, con esta investigación se obtuvo que la abundancia de la población de *P. smaragdina* del Lago de Chaco es afectada por cambios de ciertos factores ambientales, propiciados por el estrés natural y antropogénico.

Palabras clave: Lago de Chalco, ostrácodo, *Potamocypris smaragdina*, estructura y dinámica poblacional, variables ecológicas.

ABSTRACT

The modern Lake Chalco displays eutrophic conditions caused mainly by human activity. Therefore, modern information on the physical, chemical and biological conditions of the lake is necessary. Populations of some aquatic invertebrate species are sensitive to environmental changes, so ecological studies that relate their abundances to environmental variables are important. For this, surface sediment were collected during one year, from March 2015 to May 2016 at a sampling site near the center of the lake and parallelly physical and chemical parameters of the water column were determined. When examining 10 cm³ of sediment for each sample of each month, the presence of three species of ostracods was recorded for the first time in Lake Chalco: *Candona* sp., *Potamocypris smaragdina*, and *P. unicaudata*. *Potamocypris smaragdina* was the species most dominant and abundant (9230 disarticulated valves and empty caparaces and 474 organisms with soft parts). This species is widely distributed in the world, nevertheless there are few studies on the structure and population dynamics, so, therefore these aspects were analyzed in this study. Height, length, and width of disarticulated valves, empty caparaces and caparaces with soft parts were measured. The adult organisms with soft parts were sexed and the annual proportion was determined. Multiple correlation tests using abundances were performed, as well as Principal Components Analysis (PCA) and the application of the Generalized Linear Model (GLM), to understand the relationship and influence of the environmental factors on the population dynamics. The population structure of *P. smaragdina* consisted of nine larval stages, eight juveniles from A-8 to A-1, and adults. Throughout the year, males and females were found, which indicates that the population of *P. smaragdina* in Chalco displays a sexual reproduction. Considering the morphological measurements and characteristics of the valves, the females are on average longer (601 µm), higher (310 µm) and wider (226 µm) than the males (L=535 µm, H=275 µm, W=206 µm), although they do not present a marked sexual dimorphism. On the other hand, it was recognized that the abundances of *P. smaragdina* have a positive relationship with oxygen concentrations ($r = 0.56$), which was confirmed by the GLM analysis ($p < 0.05$). Also, in this study it was found that variables such as conductivity, pH and sulfate concentrations had a negative relationship with the abundances of *P. smaragdina*, however, we suggest to conduct studies with organisms of this species under controlled laboratory conditions and perform bioassays to evaluate their tolerance to the stressors recognized in this study. Finally, with this research it was found that the abundance of *P. smaragdina* population of Lake Chaco is sensitive to changes of certain environmental factors, caused by natural and anthropogenic stress. **Keywords: Lake Chalco, ostracod freshwater, structure and population dynamics, ecological variables.**

2. INTRODUCCIÓN

México destaca por poseer 320 cuencas hidrográficas en todo su territorio, en las cuales se tienen aproximadamente 70 lagos grandes, cuyas superficies varían entre 1000 y superiores a 10 000 hectáreas y en suma cubren una superficie de 370 891 hectáreas (García-Calderón & De la Lanza-Espino, 2002). Los lagos mexicanos al igual que los de otras regiones del mundo, están sometidos a procesos evolutivos, que en algunos casos los han llevado a desaparecer, por cambios climáticos, geológicos o por la intervención humana, que aceleran su extinción (García-Calderón & De la Lanza-Espino, 2002). La sobrepoblación, urbanización, vertimientos de las aguas residuales sin tratar y uso de fertilizantes en la agricultura son de las principales causas de contaminación del agua de los lagos, ocasionando alta productividad algal, disminución de oxígeno disuelto, pérdida de biodiversidad, deterioro recreacional, agua no apta para beber, invasión de especies exóticas y en general una disminución en la calidad del hábitat (Oleksyn & Reich, 1994; Alcocer & Bernal-Brooks, 2010; Malve *et al.*, 2012; Downing, 2014).

El Lago de Chalco se ubica en la Faja Volcánica Transmexicana, dentro de la Cuenca de México, donde se originó un complejo lacustre, conformado por cinco lagos que se extendían en 1 500 km² de la cuenca, entre ellos Chalco. Esta región sostuvo una gran diversidad de ambientes naturales y es conocida por haber albergado el imperio Azteca, una compleja civilización mesoamericana de densa población y que destacó por generar alta productividad agrícola (Sanders *et al.*, 1979, Turner II, 1983; Mazari & Mackay, 1993).

El Lago de Chalco hoy en día ha sufrido cambios ambientales causados por la sobreexplotación de los acuíferos y urbanización no planificada, lo que ha generado que los aportes de agua sean de mala calidad, procedentes de asentamientos irregulares, que pueden estar contribuyendo con las condiciones eutróficas imperantes en el lago (Mazari & Mackay, 1993; Mazari Hiriart *et al.*, 2007).

Ante esta situación es posible que las poblaciones de invertebrados acuáticos que lo habitan hoy en día estén bajo un importante estrés ambiental por los aportes de aguas no tratadas al lago, no obstante, estas poblaciones son poco conocidas. Por lo que el estudio de los invertebrados acuáticos en este lago es de suma importancia, sobre todo considerando que este tipo de organismos también pueden aportar información valiosa sobre el estado y dinámica del lago.

Dentro de los invertebrados acuáticos, los ostrácodos poseen altas abundancias y diversidad en los ambientes lacustres, y estas poblaciones presentan variaciones espacio temporales ante factores ambientales como la salinidad, profundidad, temperatura del agua e incluso por el impacto antropogénico (Altınışalı *et al.*, 2015). Sin embargo, en México y en particular en el Lago de Chalco, es escasa la información ecológica sobre la relación de las principales variables ambientales (temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, composición iónica y clorofila) con la estructura y dinámica poblacional en general (Mezquita *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2013).

Estos organismos al tener gran diversidad, amplia distribución, y ciclos de vida cortos, pueden ser utilizados en interpretaciones de cambios ambientales, especialmente por la sensibilidad a la composición química del agua y estado trófico (Mezquita *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 2013). En este sentido son fundamentales los estudios que se extienden por periodos de tiempo que involucran por lo menos un ciclo anual, considerando que en los muestreos se obtiene información que permite entender la dinámica ambiental del sistema lacustre en cuestión y que posteriormente puede ser punto de comparación sobre variaciones en la limnología (Cohuo-Durán *et al.*, 2014).

Se ha observado que, ante cambios ambientales, la riqueza y diversidad de los ostrácodos se ve reducida, ocasionando la dominancia de algunas especies sobre otras (Li *et al.*, 2010). De esta forma el actual estudio tiene como objetivo determinar y analizar la estructura y dinámica poblacional de *Potamocypris smaragdina*, una especie de ostrácodo de la familia Cyprididae que presentó altas abundancias durante el tiempo de recolecta y de la cual se tiene poca información ecológica a pesar de ser considerada como de amplia distribución geográfica (Meisch, 2000).

2.1. Ostrácodos dulceacuícolas

Los crustáceos son uno de los grupos más diversos en los cuerpos de agua epicontinentales, ocupan una gran variedad de hábitats y tienen una amplia distribución. A pesar de ello, aún existe un considerable desconocimiento acerca de la biodiversidad, biología y ecología de los crustáceos bentónicos que habitan en los lagos de México (Hernández *et al.*, 2010; Cohuo-Durán *et al.*, 2014; Pérez *et al.*, 2015).

Los ostrácodos son pequeños crustáceos bivalvos, de hábitos bentónicos y nectobentónicos, cuyo tamaño en las aguas epicontinentales va de 0.20 mm a 7 mm, pero existen especies marinas que alcanzan los 20 mm de largo (Schön & Martens, 2016). Aunque son animales inconspicuos, son abundantes y diversos en varios ecosistemas acuáticos, tanto epicontinentales como marinos. El tipo de alimentación

es diversa, ya que pueden ser filtradores, herbívoros, depredadores e incluso carroñeros (McLaughlin, 1980; Keyser & Walter, 2004; Cohen *et al.*, 2007; Chávez-Lara *et al.*, 2012). De acuerdo con Martens *et al.* (2007) existen aproximadamente 2,000 especies de ostrácodos no marinos registradas en el mundo. Estos autores mencionan que los ostrácodos no marinos provienen de tres linajes, todos pertenecientes al orden Podocopida, (Darwinuloidea, Cytheroidea, y Cypridoidea) cuyo origen se remonta al Paleozoico, entre los 450 y 360 millones de años.

La característica distintiva de los ostrácodos es su caparazón calcificado y duro, formado por dos valvas laterales que están articuladas en la parte superior; dicha estructura cubre y protege las partes blandas del cuerpo y los apéndices (McLaughlin, 1980; Smith, 2014).

Muchos ostrácodos se reproducen de forma sexual, por partenogénesis o pueden presentar una combinación de ambas formas; asimismo son capaces de producir huevos de resistencia, estrategia que facilita la dispersión a larga distancia, a través del viento o es posible que sean transportados por aves acuáticas (Cohen & Morin, 1990; Martens *et al.*, 2007).

En cuanto al ciclo de vida, los ostrácodos de aguas epicontinentales presentan en general nueve etapas de desarrollo, estos se designan como “A” para el adulto, mientras que la A-8 es la primera etapa juvenil de vida libre y el A-1 es la última etapa antes de pasar a ser un adulto, el cual, no muda más (Fig. 1). Los juveniles son parecidos a los adultos, pero son reducidos en tamaño, número de apéndices, cerdas y otras ornamentaciones y conforme pasan de una etapa a otra van adquiriendo más apéndices (Kesling, 1951; Cohen & Morin, 1990; Meisch, 2000). La ontogenia de los ostrácodos es poco conocida y la morfología de las etapas juveniles ha sido poco estudiada, además es necesario investigar a mayor profundidad la estructura y dinámica poblacional, para evitar la equivocación de describir juveniles como nuevas especies (Smith & Martens, 2000).

Es importante mencionar que el desarrollo de los ostrácodos puede estar influenciado por factores ambientales tales como la temperatura, la salinidad, disponibilidad de alimento y la competencia, mientras que la reproducción puede ser estacional, presentándose uno o varios episodios reproductivos en un año dependiendo de la biología de cada especie y del tipo de ambiente el que habita, ya sea un cuerpo de agua efímero o permanente (Ganning, 1971; Horne, 1983; Latifa, 1987; Cohen & Morin, 1990; Mezquita *et al.*, 2000).

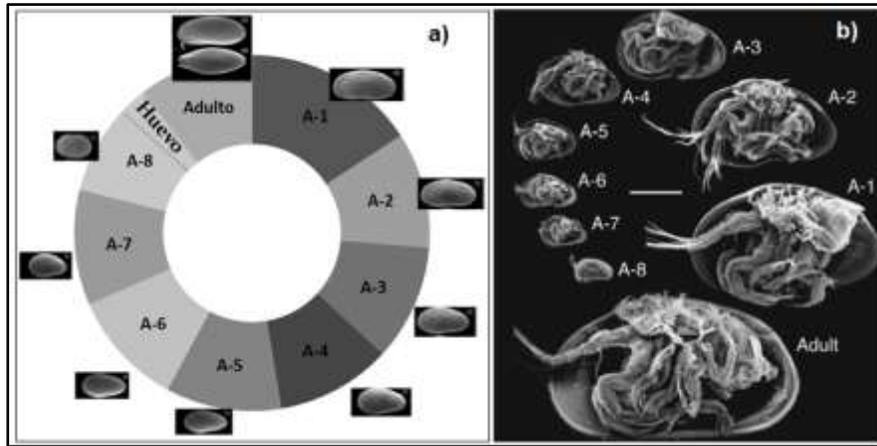


Figura 1. Representación de las etapas de desarrollo de a) *Heterocypris bosniaca* (Aguilar-Alberola & Mezquita, 2008) y b) *Eucypris virens* (Smith & Martens, 2000).

La presencia o ausencia, la distribución y composición de las especies de ostrácodos en los sistemas acuáticos está relacionada con la estructura de los sustratos, la salinidad, temperatura, cambios de las variables físicas y químicas del agua, composición de macrófitas y origen geomorfológico del lago (Altınsaç *et al.*, 2014). Son estas las razones por las que los ostrácodos son utilizados como indicadores para interpretar la calidad del agua, ya que las especies responden de diferente manera ante las variables ambientales, por lo que una vez que se conocen los requerimientos ecológicos de las especies, se pueden determinar las condiciones de los sistemas acuáticos (Külköylüoğlu, 2003).

Es indispensable conocer la estructura y dinámica poblacional de los ostrácodos actuales, aunado a sus preferencias hacia algunos parámetros ambientales, para establecer de forma correcta su uso como paleo bioindicadores (Yasuhara *et al.*, 2017). De esta manera, los datos sobre tolerancias ambientales de los ostrácodos recientes, entendidos en términos climáticos e hidrológicos complementarán y reforzarán la aplicación de estos organismos en las reconstrucciones de un ambiente pasado (Ferguson, 1944; Holmes, 2001).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

-Determinar la estructura y dinámica poblacional de *Potamocypris smaragdina* (Vávra, 1891) del nuevo Lago de Chalco y analizar su relación con los parámetros ambientales a lo largo de un año.

3.2. Objetivos particulares

-Analizar las condiciones ambientales actuales del Lago de Chalco durante un ciclo anual (marzo de 2015 a mayo de 2016).

-Identificar a nivel taxonómico de especie los ostrácodos recolectados durante un ciclo anual y definir de forma mensual las abundancias de organismos con partes blandas, valvas separadas y caparzones vacíos.

-Establecer la estructura poblacional mediante las dimensiones morfométricas de las distintas etapas de desarrollo de *P. smaragdina* con el uso de valvas separadas y caparzones vacíos y reconocer los intervalos de tallas.

-Determinar la proporción de los sexos de *P. smaragdina* mediante el uso de organismos con partes blandas y analizar la dinámica poblacional en relación con los factores ambientales, para de esta manera identificar cuáles son los factores que pueden estar actuando en dicha dinámica.

-Recopilar información sobre las preferencias ecológicas de *P. smaragdina* y complementarla con lo obtenido en este estudio.

4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

-El Lago de Chalco es un ambiente lacustre que ha estado en constante impacto por el hombre, debido a las actividades que se generan a su alrededor, como agricultura, presencia de ganado y el vertimiento de aguas residuales no tratadas, por lo que se espera que las poblaciones de ostrácodos pueden estar dominadas por la presencia de pocas especies. Asimismo, es esperado que en los meses donde se registre la mayor concentración de oxígeno es posible que las abundancias de la especie *Potamocypris smaragdina* aumenten.

5. ANTECEDENTES

5.1. Estudios sobre aspectos generales en el Lago de Chalco

La primera y quizás la única aproximación en el estudio de la comunidad de invertebrados del Lago de Chalco fue realizada por Barreiro-Güemes & López-Barreiro (1997), quienes analizaron la comunidad planctónica y registraron tres especies de cladóceros y una de copépodo como parte de la comunidad zooplanctónica. Sin embargo, después de este estudio, a la fecha no se han realizado más estudios, por lo que es desconocida la comunidad de invertebrados bentónicos, los ciclos de vida y la influencia de los factores ambientales en las especies que habitan dicho lago en la actualidad.

Por otra parte, existen algunos estudios de tipo geológicos (Ortiz-Zamora & Ortega-Guerrero, 2007; Ortega-Guerrero *et al.*, 2015) y paleoambientales (Flores-Díaz, 1965; Lozano-García *et al.*, 1993; Caballero & Ortega, 1998; Correa-Metrio *et al.*, 2013, Torres-Rodríguez *et al.*, 2015) realizados en el Lago de Chalco. Estos últimos utilizaron en su investigación restos biológicos de diferentes grupos taxonómicos como diatomeas y polen, ya que se preservan muy bien en los sedimentos lacustres por miles o millones de años, tal y como ocurre con las valvas de los ostrácodos (Holmes, 2001). Sin embargo, la falta de información sobre la ecología de los ostrácodos modernos ha impedido su uso adecuado en reconstrucciones paleoambientales, y al no tener datos ecológicos de las especies actuales es difícil utilizar estos organismos como un complemento que de robustez a los estudios que utilizan otros paleobioindicadores (Pérez *et al.*, 2010a; Cohuo-Durán *et al.*, 2014).

5.2. Estudios ecológicos sobre los ostrácodos lacustres en México

En la provincia biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana, otros lagos han sido mejor estudiados que Chalco. Prueba de ello, es la existencia de varios trabajos sobre aspectos ecológicos de la comunidad bentónica y algunos de ellos enfocados en el estudio de los ostrácodos, particularmente.

Por ejemplo, Pérez *et al.* (2015) describieron la morfología, medidas de las valvas, distribución local, regional y mundial, además de las preferencias ecológicas de 10 especies de ostrácodos en 10 lagos del centro-este de México. También, Cohuo-Durán *et al.* (2014) describieron aspectos taxonómicos, el tipo de hábitat, las preferencias ecológicas y el desarrollo larval de una nueva especie de ostrácodo del género *Limnocytherina*, recolectada en tres lagos cráter del estado de Puebla. Encontraron

siete etapas de desarrollo, de A-6 hasta adultos y observaron dos periodos reproductivos durante los meses de recolecta. Mencionaron que es una especie bentónica, abundante en zonas profundas (64 m), con preferencias hacia aguas alcalinas, temperaturas entre los 19.1 a 20.3 °C y concentraciones de oxígeno disuelto de 5 a 6.5 mg/L. De acuerdo con los autores, la información ecológica sobre *Limnocytherina* puede ser usada como un buen paleobioindicador, debido a que habita en condiciones limnológicas relativamente delimitadas.

En el lago Santa María del Oro, Nayarit, Caballero *et al.* (2013) investigaron la relación entre los patrones de estratificación, la química y la sedimentación con la presencia de los ostrácodos y diatomeas. Registraron un total de seis especies de ostrácodos, los cuales son más diversos y abundantes en el área del litoral con vegetación densa, en comparación con las zonas profundas donde las concentraciones de oxígeno disminuyen reduciendo la abundancia de los ostrácodos.

La composición, estructura y distribución espacial de la comunidad de crustáceos bentónicos del lago Alchichica, Puebla, fue estudiada por Hernández *et al.* (2010). Encontraron que la comunidad estuvo compuesta por un anfípodo, un isópodo y dos ostrácodos. Los ostrácodos se recolectaron con mayor frecuencia, en la zona litoral, talud y en la zona profunda. En la zona del talud se encontraron las mayores abundancias, lo cual pudo deberse a que esa zona constituye una zona de transición entre hábitats, donde el impacto de parámetros ambientales no tiene un efecto negativo en los organismos. Asimismo, las dos especies de ostrácodos las consideraron dentro de la posición trófica como bacteriófagas, y por otra parte la disposición de oxígeno fue la variable limitante en la distribución vertical, lo que coincidió con lo reportado por Hernández-Fonseca *et al.* (2013).

Siguiendo esta línea, es importante destacar que las preferencias ecológicas de los ostrácodos a nivel poblacional y de comunidad ha sido mejor estudiada en otras partes del mundo tales como en Turquía (Külköylüoğlu, 2003, 2004; Yilmas & Külköylüoğlu, 2005; Külköylüoğlu *et al.*, 2007; Altınsaçlı *et al.*, 2014); Italia (Pieri *et al.*, 2009; Pieri *et al.*, 2012), Estados Unidos (Smith, 1993; Curry, 1999), Guatemala (Pérez *et al.*, 2010a), Colombia (Torres-Saldarriaga & Martínez, 2010) y Argentina (Cusminsky *et al.*, 2005; Coviaga *et al.*, 2015).

5.3. Estudios sobre estructura poblacional y ciclos de vida de los ostrácodos lacustres en México y en otras regiones del mundo

En México, los estudios sobre preferencias ecológicas y en particular sobre la determinación de las etapas ontogenéticas y ciclos de vida de los ostrácodos no marinos son escasos (Pérez *et al.*, 2015), y esto es posible que se deba a dos razones, falta de investigadores que traten estos temas o porque los ostrácodos representan un grupo complicado, ya que, al presentar varias etapas de desarrollo, en ocasiones resulta difícil la correcta identificación taxonómica de los organismos juveniles y adultos. Debido a esto último, es importante describir la morfología del caparazón de los juveniles, porque en general son escasamente conocidos (Carbonel *et al.*, 1988).

El trabajo de Hernández-Fonseca (2015) es uno de los pocos en tratar aspectos poblacionales, y el cual estuvo enfocado en el ostrácodo *Candona* sp. en el Lago Alchichica, Puebla. En dicho trabajo, la autora mencionó que el ostrácodo del género *Candona* presentó un ciclo de vida corto, con una generación al año. Encontró cinco etapas de desarrollo (Adultos y etapas de la A-1 a la A-4) e identificó que la máxima densidad poblacional fue dominada por la etapa A-2, en el período en el que el lago permaneció oxigenado por cuatro meses, según el análisis en el mes de marzo se dio la mayor concentración de oxígeno disuelto. Por otro lado, las menores densidades se originaron cuando el lago presentó una anoxia prolongada, acompañada por concentraciones elevadas de sulfuro de hidrógeno. En el periodo de anoxia, la mayoría de los organismos que se encontraban vivos pertenecían a la etapa A-2, estos organismos estaban inactivos y presentaban un cierre hermético en las valvas. De acuerdo con lo anterior, la autora mencionó que *Candona* sp. puede ser tolerante a la anoxia y es posible que entre en latencia en la etapa juvenil como estrategia adaptativa hasta que las condiciones de oxigenación se restablecen.

En particular la estructura poblacional y ciclos de vida de los ostrácodos no marinos, han sido bien estudiados fuera de México. Coviaga *et al.* (2015) en la Patagonia Argentina, relacionaron que la abundancia de las siete etapas de desarrollo reconocidas y el periodo reproductivo de dos especies de ostrácodos, estuvo influenciada principalmente por la temperatura y la conductividad. Durante la investigación encontraron solo hembras de ostrácodos, lo que indicó una posible reproducción partenogenética. El tiempo de desarrollo dependió de la estacionalidad de cada especie, y en dicho trabajo observaron que la población de *Cyprideis pubera* presentó un ciclo en primavera que duró ocho semanas y otro en verano que duró cinco semanas, con la dominancia de etapas juveniles; mientras que *Eucypris virens*

presentó una reproducción continua, con la dominancia de hembras ovígeras y la presencia de etapas juveniles durante el período de muestreo.

Aguilar-Alberola & Mezquita-Joanes (2008) dieron a conocer la ecología y la historia de vida de *Heterocypris bosniaca* en estanques temporales de la Península Ibérica. En el periodo de muestreo (ocho semanas) encontraron solo hembras, por lo que puede tratarse de una especie con reproducción por partenogénesis. Los autores midieron los organismos y encontraron nueve etapas de desarrollo desde A-8 a adulto. Así mismo, con la finalidad de obtener información precisa acerca del número, tamaño y duración de las diferentes etapas larvales, realizaron cultivos experimentales de *H. bosniaca*. En general las etapas juveniles tuvieron una duración de 50 horas, donde la última etapa juvenil (A-1) vivió por 100 horas antes de mudar a adulto. Mientras que los adultos vivieron 210 horas en condiciones de laboratorio. Debido a que las pozas temporales tienden a secarse por completo en verano, se mencionó que la especie puede ser tolerante a condiciones de desecación y desarrollar un ciclo de vida corto, lo anterior fue corroborado al observar que en laboratorio el ciclo de vida es relativamente corto, llegar de juvenil A-7 a adulto tomó cerca de 17 días a una temperatura de 20°C.

Aguilar-Arberola & Mezquita-Joanes (2011) publicaron datos acerca de la dinámica poblacional y tolerancia a la desecación de *Heterocypris bosniaca*. Al comenzar el ciclo hidrológico las abundancias relativas de las etapas más grandes se acrecentaron rápidamente, llegando a la madurez en 21 días con una temperatura promedio de 19°C. En el período de desecación solo adultos fueron capaces de sobrevivir en el sustrato por un largo período de tiempo.

La estructura y dinámica poblacional de tres especies de ostrácodos presentes en un lago temporal de Missouri, Estados Unidos fueron descritas por Ferguson (1944). En general las tres especies tuvieron preferencias por condiciones estacionales cálidas, ya que registró las etapas juveniles y adultos en la época de primavera-verano mientras que en invierno estuvieron ausentes. Las tres especies fueron consideradas como multivoltinas al encontrarse más de dos generaciones al año y de acuerdo con el autor, el tiempo de desarrollo de cada especie es de dos a tres meses.

En la investigación de Ganning (1971), determinó que *Heterocypris salinus* es una especie partenogénica, que genera cerca de 30 a 40 huevos por cada hembra y pasa por 8 etapas de desarrollo antes de ser adulto. Produce de dos a tres generaciones por año y los huevos pueden presentar estado de latencia cuando son depositados en la parte profunda del estanque. Además, estableció que el ciclo de vida de *H. salinus*

comprende aproximadamente 45 días desde la eclosión hasta la generación de nuevos huevos, mientras que en condiciones de laboratorio observó que a 25°C el desarrollo se dio en 30 días y a 15°C tardó 45 días. En el mismo estudio, *Cypridopsis aculeata* presentó dos generaciones por año y su desarrollo en la naturaleza le tomó 30 días a 15°C, en condiciones de laboratorio a 20°C el ciclo entero de huevo a huevo fue completado en 17 días.

La estructura y la dinámica poblacional de *Darwinula stevensoni* fue estudiada en una poza temporal de la región centro de Bélgica por Van-Doninck *et al.* (2003). En el estudio registraron nueve etapas, de adulto a A-8, las cuales fueron diferenciadas al medir el largo del caparazón. Por otro lado, la duración del ciclo de vida de esa especie fue de un año y esto pudo estar relacionado con la fluctuación de la temperatura. En invierno cesa la reproducción y se presenta una detención en el desarrollo y se reanuda cuando las temperaturas son cálidas.

Asimismo, Wojtasik (2008) estudió el ciclo de vida de *Tonnacypis glacialis* en 25 lagos de Ártico. Encontró que en condiciones naturales se presenta una sola generación con ocho etapas de desarrollo a lo largo de un año, mientras que en cultivos de laboratorio a 20 °C el desarrollo de huevo a adulto fue de aproximadamente un mes. Debido a que los lagos de dicha región presentan períodos de congelación durante el invierno, esta especie necesita de la fase de deshielo de los lagos para iniciar la siguiente generación. Esta autora indicó que la temperatura puede ser un factor limitante que tiene efectos en el tiempo de desarrollo, ya que temperaturas elevadas como las que ocurren en verano permiten la eclosión de los huevos y la ocurrencia de los primeros juveniles.

De acuerdo con lo anterior, en algunos lugares del mundo se ha estudiado la relación de las principales variables ambientales (temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH, conductividad, composición iónica y clorofila) con la estructura y dinámica poblacional de los ostrácodos, y en particular en México los estudios poblacionales de ostrácodos han sido raramente abordados (Pérez *et al.*, 2013; Cohuo-Durán *et al.*, 2014). Ante la escasa información sobre la ecología poblacional de los ostrácodos dulceacuícolas en México, el presente estudio pretende abordar dicha investigación al analizar la estructura y dinámica de *P. smaragdina* y así ampliar el conocimiento de la ecología de estos organismos en sistemas lacustres alterados por la actividad humana como lo es en el Lago de Chalco.

6. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de México abarca una superficie de 9600 km² y se encuentra en el borde sur-centro de la Faja Volcánica Transmexicana, dentro de la cual se ubica en la subcuenca de Chalco. Esta subcuenca se encuentra delimitada al este por la sierra Nevada, al norte por la sierra de Santa Catarina y al sur por la sierra Chichinautzin y en el límite occidental estaba delimitada por lo que era la isla de Tláhuac, que la separaba del lago de Xochimilco (Caballero, 1997). El Lago de Chalco en el pasado formó parte de un sistema lacustre conformado por cinco cuerpos principales, ubicados de norte a sur: Zumpango-Xaltocan, Texcoco y Xochimilco-Chalco (Caballero *et al.*, 2010). De acuerdo con Brown *et al.* (2012), este sistema de lagos se formó al cerrarse la cuenca debido al emplazamiento del campo volcánico del Chichinautzin y desde tiempos prehispánicos el régimen hidráulico de los lagos formados ha sido modificado para controlar inundaciones y para uso agrícola.

El Lago de Chalco, también conocido como Ciénega de Tláhuac, es un cuerpo de agua dulce eutrófico, ubicado en las coordenadas 19°15' 28" N y -98°57' 09" O (Fig. 2), tiene una superficie entre 1000 y 1500 hectáreas y una profundidad que puede alcanzar cerca de los 3 m. En la actualidad es un lago perenne en forma de C invertida (Ortega-Guerrero *et al.*, 2015; CONABIO, 2016) que es alimentado principalmente por lluvias, las cuales definen dos temporadas en el área: la lluviosa, entre los meses de junio a septiembre y la seca el resto del año (Bouvier *et al.*, 1993). Sin embargo, el lago también recibe aportes de agua que provienen de descargas de agua para uso humano (vaso de regulación), e incluso por descargas de agua de uso doméstico de las colonias aledañas. El tipo de suelos que se pueden encontrar en la planicie de Chalco son andosoles, solonchaks y gleysols, ricos en sales (Aguilera-Herrera, 1989; Bouvier *et al.*, 1993). En el lago prevalece un régimen de aguas duras y presenta gran cantidad de materia orgánica. La temperatura del agua toma valores entre 13.3 y 22 °C, la salinidad oscila entre 1.4 a 5.8 ppm, el oxígeno disuelto va de 1.4 a 17.5 mg/L y el pH presenta valores entre 8.9 y 9.1 [H⁺] (Ayala-Pérez & Avilés-Alatraste, 1997).

En el año 2004, el gobierno del Estado de México declaró área natural protegida con la categoría de Parque Estatal "Santuario del agua Lagunas de Xico" al área correspondiente al municipio de Chalco (Montiel-Rojas, 2004), la parte del lago perteneciente a la Ciudad de México permanece catalogada como suelo de conservación.

El lago se encuentra dividido en cuatro cuerpos de agua, esta división se debe a la carretera Tláhuac-Chalco, que cruza de sur a norte, y el camino de terracería a Santa

Catarina, mejor conocida como calzada de las Bombas. La vegetación predominante en el lago es el tular (*Scirpus lacustris*), aunque también se encuentran pastos cerca del litoral. Asimismo, es relevante mencionar que alrededor de lago se practican actividades agrícolas y ganaderas (Barreiro-Güemes & López-Barreiro, 1997; CONABIO, 2016).

6.1. Lago de Chalco: Etapas de su formación, pasado y presente

Ante el cierre de la cuenca de México en la porción sur por la sierra de Chichinautzin hace aproximadamente 780 000 años (Ortiz-Zamora & Ortega-Guerrero, 2015), las aguas interiores de la cuenca sufrieron un proceso de salinización al no tener otra salida de las aguas, solo mediante evaporación hacia la atmosfera, con el consiguiente aumento de la concentración de materiales disueltos.

El Lago de Chalco hace aproximadamente 40,000 años, era un lago alcalino, salino y abierto, con una profundidad de probablemente entre 8 a 10 m, lo anterior es interpretado por la presencia de ciertas especies de diatomeas en los sedimentos y por indicadores no biológicos como la susceptibilidad magnética. En miles de años posteriores, el lago presentó fluctuaciones en la química del agua e incluso fue afectado por la actividad volcánica en ciertos períodos (Lozano-García *et al.*, 1993; Caballero & Ortega-Guerrero, 1998). Caballero (1997) mencionó que hace 34,000 y 31,000 años, Chalco tenía aguas alcalino-salinas (pH 8, CE 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A comienzos del último glacial cerca de los 30,000 fue alcalino-salino y poco profundo menor a 2 m; pero cerca de los 22,000 años la actividad volcánica por el Popocatépetl produjo material volcánico que pudo estar asociado con la transición de agua dulce a salino. Las condiciones de agua dulce persistieron hasta los 18,500, pero las aguas fueron ácidas cerca de los 14,000, la alternancia de aguas dulces a acidas es probable que se debiera a la actividad volcánica. Durante el Holoceno temprano, entre 10,000 a probablemente 6000, Chalco llegó a ser un ciénega salina, alcalina y poco profunda nuevamente, este período salino fue interpretado como un incremento de evaporación. Sin embargo, la transición entre agua dulce a ligeramente alcalina y el incremento de los niveles del lago se dieron en los 5000. Por otro lado, aproximadamente hace 7000 años se registraron los primeros asentamientos humanos en la zona y en los 4000 la agricultura se desarrolló totalmente en el área (Caballero & Ortega-Guerrero, 1998).

A partir de la llegada de los primeros pobladores alrededor del antiguo lago, al establecimiento y desarrollo del imperio azteca en 1325, se modificó constantemente el cuerpo de agua en la proporción que aumentaba la población. Aunado a esto, con

la llegada de los españoles en 1519 y con ellos nuevas prácticas productivas, principalmente la ganadera que exigía mayores áreas de terreno para pastoreo, se acentuó la pérdida de extensión del gran lago ocasionando su fragmentación (Ezcurra, 1992) y en algunos casos la desecación completa. La desecación en Chalco se dio a partir de que el gobierno mexicano encabezado por Porfirio Díaz, en 1895 dio consentimiento, a los hermanos Noriega Laso, de origen español, para que usasen las tierras con fines agrícolas e industriales. La alteración ecológica y social se hizo evidente, debido a que las comunidades humanas que se alimentaban de distintas especies de flora y fauna como insectos, crustáceos, peces, anfibios y aves que les proveía el lago, sufrieron la pérdida de un ecosistema relativamente sustentable (Beltrán-Bernal, 1998).

Desafortunadamente se tiene escasa información de la fauna y flora del sistema, antes y después de la desecación. Sin embargo, décadas después, la construcción de pozos de bombeo de agua del acuífero para suministrar a la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, ocasionaron hundimientos de los sedimentos de la planicie lacustre de Chalco, generando lo que Ortiz-Zamora & Ortega-Guerrero (2007) describen como la formación del nuevo Lago de Chalco. En su estudio, describen como se fueron generando pequeñas charcas a partir de 1988, hasta llegar al sistema lacustre dividido por cuatro cuadrantes que hoy en día abarcan cerca de 1200 hectáreas (Fig. 2).

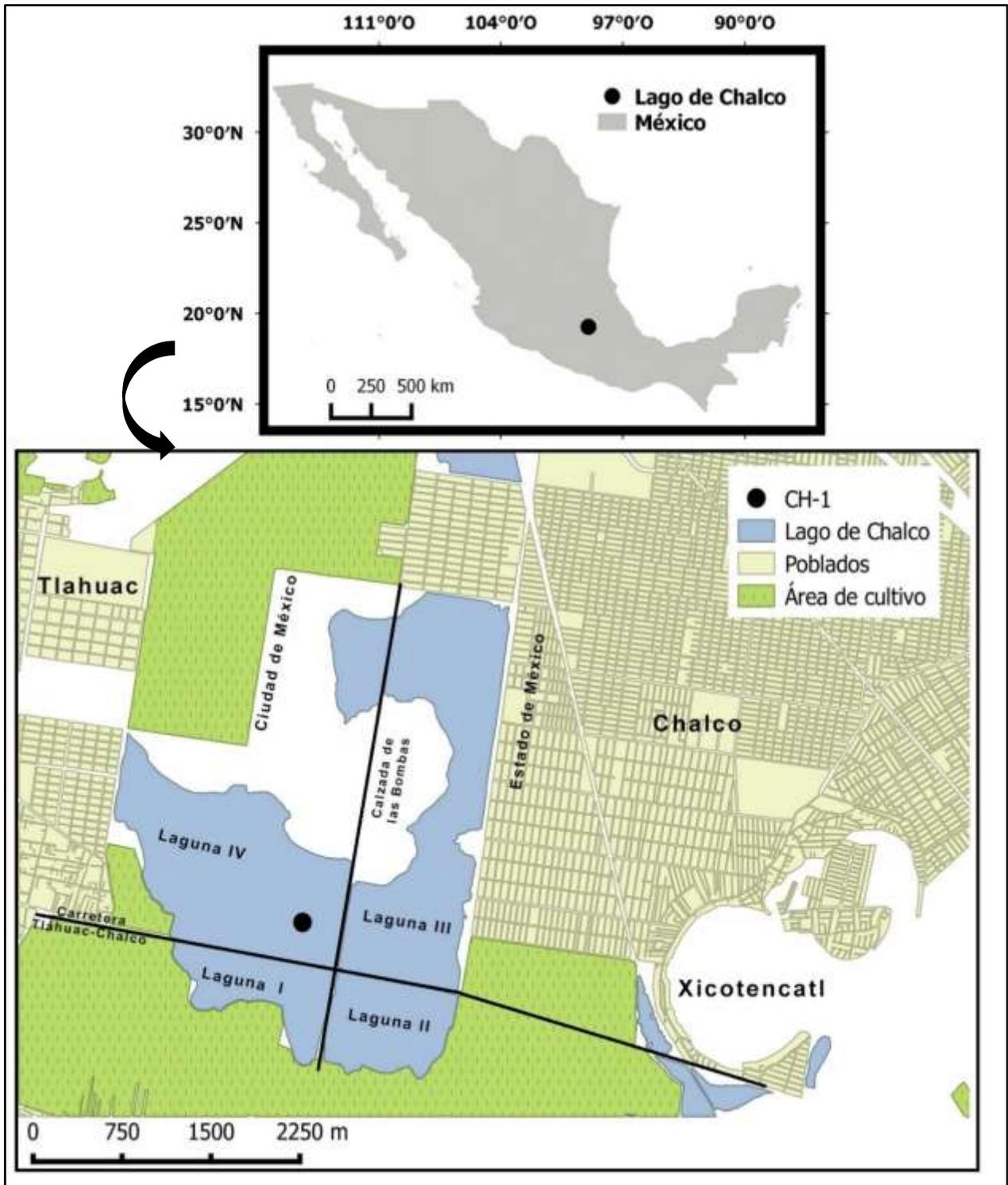


Figura 2. Ubicación del Lago de Chalco y el sitio de recolecta en este estudio (Laguna IV).

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1. Trabajo de campo

La información que se analizó en este estudio es parte del proyecto PAPIIT IV100215 con título “Cambio climático y medio ambiente en la historia del lago de Chalco”, el cual es la parte mexicana de la iniciativa internacional-Proyecto MexiDrill-Chalco del International Continental Scientific Drilling Program (ICDP).

Dentro del contexto de este proyecto se realizaron muestreos mensuales a partir marzo del año 2015 a mayo del 2016 en la laguna IV del nuevo Lago de Chalco, la cual tiene una extensión de 101 hectáreas. Es preciso mencionar que los meses de julio, septiembre y octubre de 2015 fue imposible hacer la recolecta de las muestras debido a cuestiones de mal tiempo meteorológico y por fallas en la lancha.

El material biológico se obtuvo utilizando una draga tipo Ekman; una vez que subía está, se extraía la parte superficial del sedimento (mínimo 100 cm³) y posteriormente se fijaba la muestra con alcohol al 70%. De forma simultánea, se midieron las siguientes variables ambientales con una sonda multiparamétrica (Hydrolab DS5): oxígeno disuelto (OD), temperatura del agua (°C), conductividad eléctrica (µS/cm), clorofila *a* (µg/L) y pH. También se obtuvieron muestras de la superficie del agua para determinar la composición de iones y cationes; una vez obtenida la muestra se refrigeró a 4°C para su análisis en el laboratorio de química analítica del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las coordenadas y la elevación se determinaron con un sistema de posicionamiento geográfico (GPS Garmin-45XL).

7.2. Trabajo de Laboratorio

Una vez en el laboratorio, 10 cm³ de sedimento de cada muestra se filtraron y se separaron los ostrácodos de otros invertebrados con el uso de microscopio estereoscópico. Posteriormente, se etiquetó el material biológico y se fijó de nuevo en alcohol al 70%. Cuando los organismos de *P. smaragdina* presentaron partes blandas bien preservadas se utilizaron para ser disectados y montados en una preparación permanente utilizando Hydromatrix. Cinco machos y cinco hembras fueron disectados y la identificación taxonómica se basó en los caracteres de las partes blandas del cuerpo y la morfología de las valvas de los individuos adultos, utilizando literatura especializada (Meisch, 1985, 2000; Cohuo-Durán, 2012; Karanovic, 2012; Pérez *et al.*, 2015).

7.3. Análisis Numérico

7.3.1. Análisis de caparzones vacíos y valvas separadas

Debido a que no se encontraron individuos juveniles entre los organismos con partes blandas, y dada la finalidad de determinar la estructura poblacional y reconocer todas las etapas de desarrollo de *P. smaragdina*, se utilizaron las medidas de los caparzones sin organismos y las valvas desarticuladas. Se midieron las valvas desarticuladas y los caparzones vacíos para establecer los intervalos de talla, aplicando la función de densidad de Kernel, la cual se basa en las agrupaciones de las modas de los datos, indicando de esta manera los intervalos de talla de las etapas de desarrollo. Esta función se puede utilizar cuando los datos no se distribuyen de manera normal. En cuanto a los caparzones vacíos, se realizaron gráficas en 3D, las cuales incluían medidas del alto, largo y ancho, para poder visualizar de manera más clara la separación de las distintas etapas de desarrollo y tener una confirmación del histograma de la densidad de Kernel. Para esto se utilizó el software PAST3.

Yasuhara *et al.* (2017) mencionaron que en algunos análisis con microfósiles incluyendo ostrácodos, un volumen de submuestras de sedimento de aproximadamente 20 cm³, se pueden extraer >100 o >200 organismos para generar análisis paleoecológicos. Pérez *et al.*, (2013) utilizaron 100 valvas de ostrácodos adultos de 50 mL de sedimento superficial, en su análisis de abundancias. Mientras Cohuodurán *et al.* (2014) usaron 100 organismos (200 valvas) para identificar las etapas de desarrollo de *Limnocytherina axalapasco*. En este caso, se usaron >150 caparzones vacíos para establecer el intervalo de tallas de alto, largo y ancho. Por otro lado, se utilizaron y midieron >1000 valvas desarticuladas con el fin de reconocer la estructura poblacional.

7.3.2. Análisis de organismos con partes blandas

Los organismos con partes blandas fueron sexados para determinar la proporción de hembras y machos. Después, se realizó una prueba de correlación lineal múltiple para determinar el grado de asociación entre las variables ambientales y las abundancias de *P. smaragdina*.

Para evaluar la relación especie-ambiente y tratar de determinar la variación temporal, se analizó mediante el uso de estadística multivariada (Análisis de Componentes Principales, ACP) utilizando las variables ambientales tomadas en campo en cada mes de muestreo y las abundancias de los organismos con partes blandas. Este análisis es

adecuado cuando se tienen datos expresados en diferentes unidades, mismas que deben estandarizarse. Es un análisis exploratorio de los datos que origina una ordenación, lo que permite simplificar las descripciones de los datos. El propósito es producir un nuevo grupo de variables que son combinaciones lineales de las variables originales que originan los llamados componentes principales. Producen puntajes (scores) para individuos en aquellas variables y estas pueden ser graficados y usados para inspeccionar visualmente patrones (Zelditch *et al.*, 2012; Ávila-Pérez *et al.*, 2015).

Posterior a esto, se determinó la normalidad de las variables ambientales (Shapiro-Wilk) y aquellas que no lo fueron se transformaron con el logaritmo base 10. Se aplicó un Modelo Lineal Generalizado (MLG) para determinar que variables ambientales pueden estar afectando las abundancias de *P. smaragdina*. Al final se obtuvo el modelo con bajos valores de Criterio de Información de Akaike (CIA), y que correspondieron con un menor número de variables, las cuales fueron elegidas y respetan el principio de parsimonia. Dicho criterio evalúa tanto el ajuste del modelo a los datos como la complejidad del modelo, cuanto más simple mejor. De esta manera cuanto más pequeño es el valor del criterio mejor es el ajuste. Las estimaciones y los errores estándar fueron graficados junto con los datos originales para mostrar como el modelo se ajusta a los datos (Castillo-Escrivá *et al.*, 2013). Debido a que en este caso la variable dependiente/respuesta es de conteo (abundancias totales), los MLG permiten especificar como tipo de distribución Poisson. Para valorar el ajuste de los modelos se utilizó el estadístico de Chi-cuadrado. Para lo anterior se usó el lenguaje de programación estadística R, paquetería *Vegan*.

7.3.3. Determinación parcial del ciclo de vida de *Potamocypris smaragdina* (Vávra, 1891)

Para determinar parcialmente el ciclo de vida de la especie, se obtuvieron organismos vivos durante la última fecha de recolecta en el Lago de Chalco (mayo-2016) y el seguimiento comenzó el 31 de octubre de 2017 y concluyó el 23 de noviembre de 2017. Los organismos fueron colocados en frascos de 250 ml para ser transportados al Instituto de Cavanilles, Universidad de Valencia, España. Se eligieron 16 hembras ovígeras, las cuales se colocaron cada una en placas multi-pocillo con ayuda de microscopio estereoscópico y pinceles de cerdas finas (Fig. 3). Las hembras fueron alimentadas constantemente con pequeños trozos de espinaca. Una vez que las hembras ovopositaron, estas fueron sacadas de la celda y puestas en una placa nueva. Cuando eclosionaron los huevos, cada individuo fue separado, colocado en un pocillo diferente, con alimento (espinaca) y fue observado diariamente por la mañana y la

tarde. Cuando el individuo mudaba, se obtenían sus valvas y se colocaron en placas micropaleontológicas y posteriormente las valvas fueron medidas. El agua se cambió constantemente para evitar el crecimiento desproporcionado de bacterias y se tomaba la temperatura ambiental con un termómetro digital 433 MHz. Asimismo, se tomaba registro del día en el que el juvenil mudaba, para obtener el tiempo en días del desarrollo ontogenético.



Figura 3. Material utilizado para el seguimiento del ciclo de vida de *P. smaragdina*.

Desafortunadamente, para el 23 de noviembre del 2017 la mayoría de los juveniles y las hembras habían muerto por contaminación bacteriana. Por lo que se estableció dicha fecha para dar fin en el seguimiento del ciclo.

8. RESULTADOS

8.1. Caracterización física y química del Lago de Chalco

Graficar las variables ambientales analizadas en este estudio permitió visualizar algunos patrones y tendencias a lo largo del ciclo anual.

Por un lado, se observó que bajas temperaturas se presentan entre los meses de diciembre de 2015 (18.71 °C) a febrero de 2016 (18.61 °C), y se reconoció que enero (15.02 °C) tuvo la menor temperatura registrada, mientras que la temperatura máxima se originó en el mes de junio de 2015 con 23 °C. Al disminuir la temperatura, se apreció una coincidencia con las mayores concentraciones de oxígeno disuelto entre los meses de diciembre de 2015 a marzo de 2016, registrándose la máxima concentración en febrero de 2016 y la mínima concentración en los meses de marzo y abril de 2015 (Fig. 4, Tabla 1).

El pH varió entre 9.1 (marzo 2015) como mínimo y 10.5 (mayo 2015) el máximo. Posterior a este último mes, el pH se mantuvo constante con valores de 9. El valor máximo de pH se registró cuando ocurrió la mayor concentración de clorofila *a* (248 µg/L), mientras que la menor concentración se presentó en noviembre de 2015 (27.18 µg/L).

La conductividad eléctrica registró valores entre los 2020.5 µS/cm como máxima en mayo de 2016 y 1335 µS/cm como mínima en el mes de agosto de 2015. De acuerdo con los datos, la conductividad disminuyó entre los meses de junio a diciembre, coincidiendo con el aumento de la concentración de clorofila *a* y la época de lluvias (Fig. 4, Tabla 1).

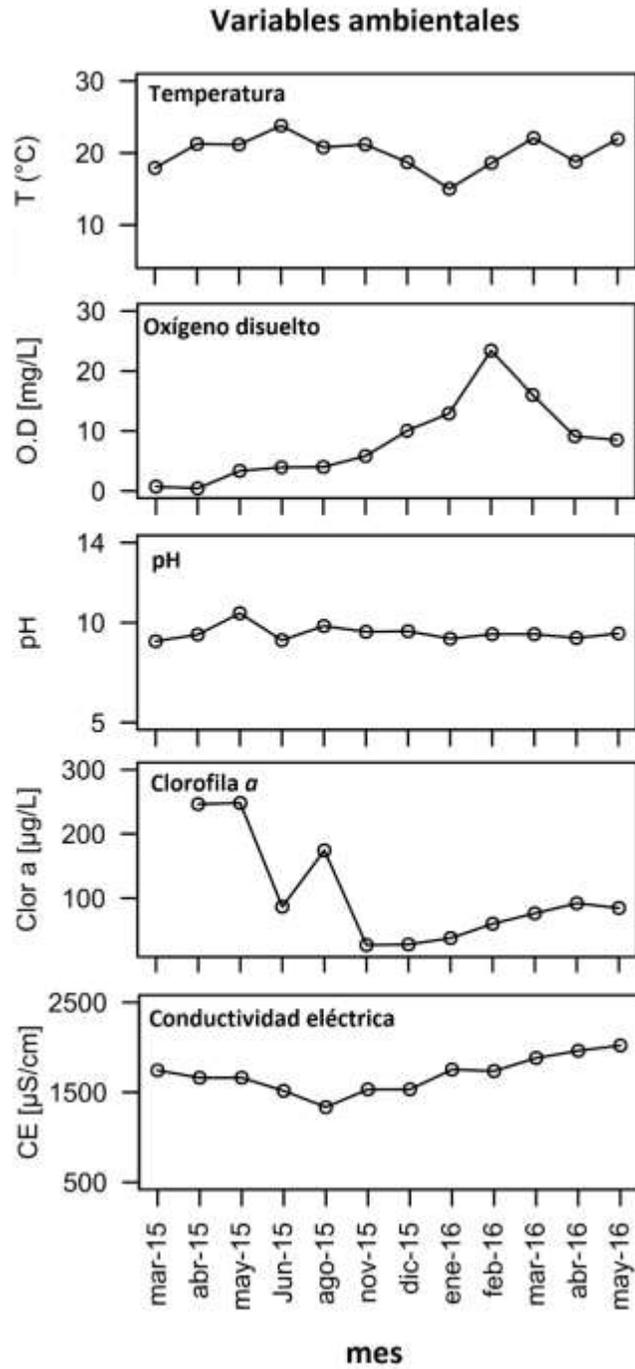


Figura 4. Variables ambientales medidas durante los meses de recolecta.

Tabla 1. Variables físicas y químicas obtenidas mensualmente, de marzo de 2015 a mayo de 2016.

| Variable/Mes | mar-15 | abr-15 | may-15 | jun-15 | ago-15 | nov-15 | dic-15 | ene-16 | feb-16 | mar-16 | abr-16 | may-16 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T (°C) | 17.9 | 21.2 | 21.1 | 23.7 | 20.7 | 21.1 | 18.7 | 15 | 18.6 | 22 | 18.7 | 21.9 |
| OD [mg/l] | 0.74 | 0.43 | 3.35 | 3.94 | 4 | 5.82 | 10.04 | 12.92 | 23.41 | 16.02 | 9.13 | 8.51 |
| pH | 9.07 | 9.4 | 10.4 | 9.1 | 9.8 | 9.5 | 9.5 | 9.2 | 9.4 | 9.4 | 9.2 | 9.4 |
| CE [μS/cm] | 1744 | 1662 | 1662 | 1516 | 1335 | 1532.5 | 1533 | 1752.5 | 1737 | 1881.5 | 1962 | 2020.5 |
| Clor a [μg/L] | | 246.5 | 248.1 | 86.7 | 174.4 | 27.18 | 27.99 | 37.85 | 60.15 | 76.41 | 92.03 | 84.74 |
| SDT [mg/L] | 1168 | 1180 | 1224 | 1177 | 1221 | 1123 | 1101 | 1109 | 1188 | 1197 | 1230 | 1238 |
| Na ⁺ [mEq/L] | 13.21 | 13.20 | 13.38 | 13.13 | 12.47 | 11.99 | 11.73 | 12.82 | 13.02 | 13.58 | 14.45 | 13.71 |
| K ⁺ [mEq/L] | 0.94 | 1.00 | 0.95 | 0.96 | 0.84 | 2.08 | 1.50 | 1.33 | 1.47 | 1.01 | 1.12 | 1.10 |
| Ca ²⁺ [mEq/L] | 1.82 | 3.40 | 3.40 | 1.67 | 1.67 | 1.89 | 1.84 | 2.10 | 2.06 | 2.11 | 2.01 | 2.01 |
| Mg ²⁺ [mEq/L] | 3.32 | 6.31 | 6.05 | 3.16 | 3.47 | 3.91 | 4.11 | 4.06 | 4.14 | 3.97 | 3.97 | 3.72 |
| HCO ₃ ⁻ [mEq/L] | 4.06 | 2.68 | 3.16 | 5.64 | 4.18 | 6.63 | 5.44 | 4.45 | 4.70 | 5.77 | 5.24 | 6.01 |
| SO ₄ ²⁻ [mEq/L] | 5.67 | 6.01 | 5.89 | 5.70 | 5.07 | 4.47 | 4.56 | 4.74 | 4.61 | 4.85 | 5.36 | 5.55 |
| Cl ⁻ [mEq/L] | 5.66 | 6.59 | 5.71 | 5.77 | 5.69 | 5.63 | 5.71 | 5.69 | 5.77 | 5.90 | 6.16 | 6.43 |
| CO ₃ ²⁻ [mEq/L] | 4.11 | 5.78 | 4.77 | 0.78 | 3.48 | 1.89 | 3.13 | 3.01 | 4.75 | 3.59 | 4.17 | 3.43 |

Abreviaturas: T=Temperatura, OD=Oxígeno disuelto, CE= Conductividad Eléctrica, Clor a=Clorofila *a*. **Dominancia de las concentraciones de sodio sobre los otros iones:** cationes= Na⁺> Mg²⁺> Ca²⁺> K⁺, y aniones= HCO₃⁻> Cl⁻> SO₄²⁻> CO₃⁻.

Las concentraciones de iones determinados fueron dominadas por el sodio y bicarbonato/carbonato (cationes Na⁺+K⁺ > Mg²⁺> Ca²⁺, aniones HCO₃⁻+CO₃⁻> Cl⁻>SO₄²⁻) (Tabla 1, Fig. 5 y 6). Los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ presentaron una tendencia similar a lo largo del año de estudio, altas concentraciones en los meses de abril y mayo de 2015, y posterior a estos meses los valores de las concentraciones bajaron drásticamente y permanecieron constantes en los seis meses siguientes. El bicarbonato y el carbonato presentaron una tendencia inversa, con bajas concentraciones de bicarbonatos de marzo a mayo de 2015, cuando los carbonatos registraron una concentración mayor y los valores de pH alcanzaron sus valores máximos, pero en general la concentración de ambos iones en conjunto se mantuvo constante a lo largo del año. Asimismo, la concentración el ion potasio tuvo el valor

máximo en noviembre de 2015 (Tabla 1, Fig. 5). Por último, el ion sulfato tuvo poca variación en sus concentraciones a lo largo del registro anual, al igual que el cloro (Tabla 1).

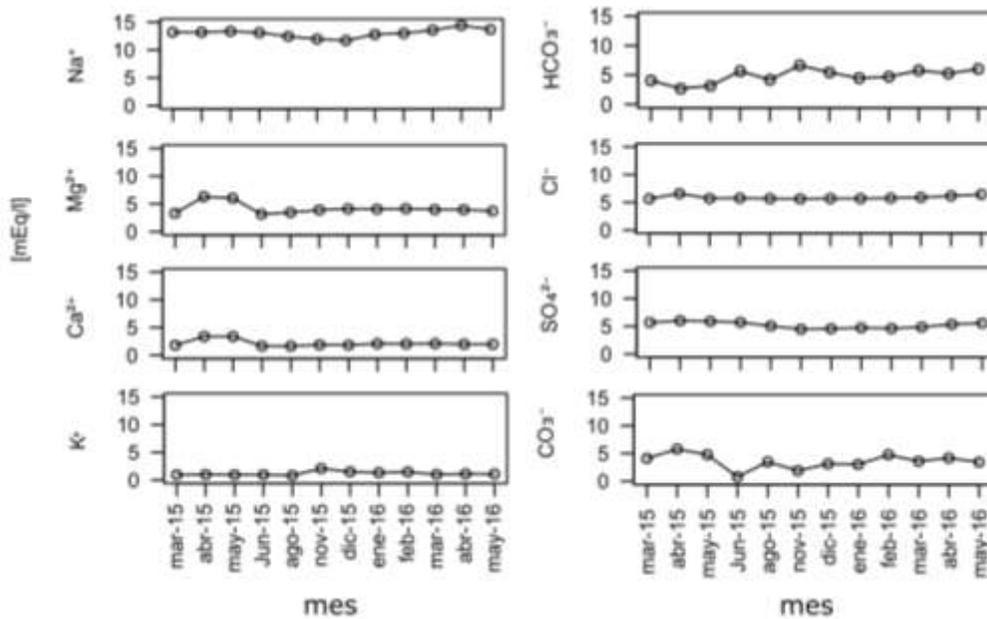


Figura 5. Principales aniones y cationes determinados en el Lago de Chalco durante marzo de 2015 a mayo de 2016, representados en concentraciones de milequivalentes.

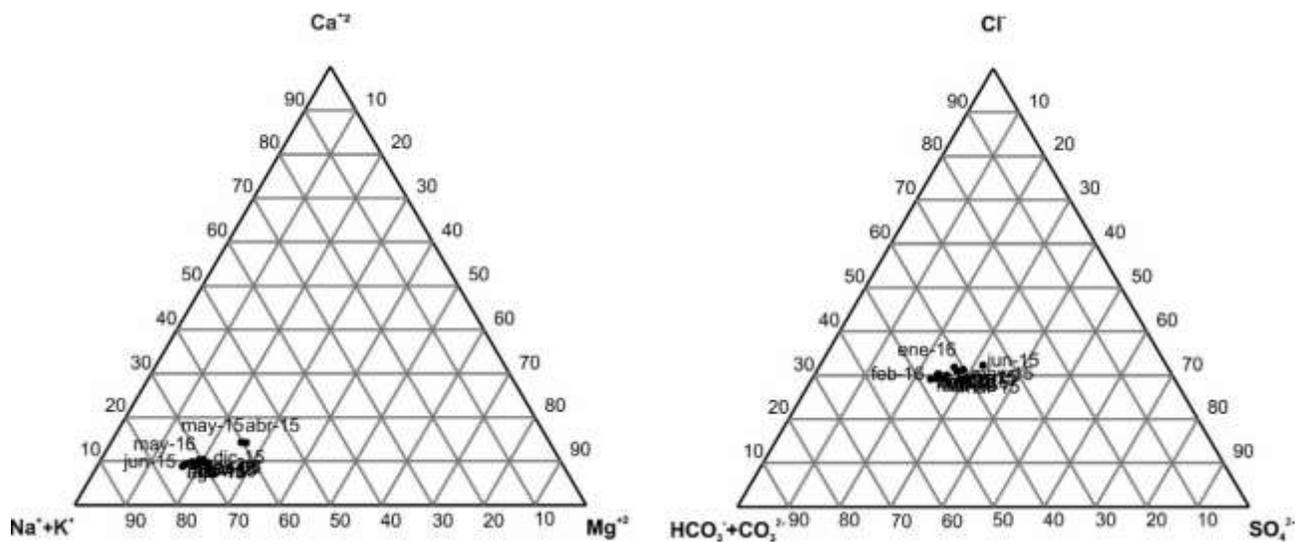


Figura 6. Diagrama triangular que muestra las proporciones de los cationes y aniones registrados durante los 12 meses de recolecta en el Lago de Chalco. Muestra como el lago tiene dominancia principal de sodio-potasio, aunque en los aniones, no se observó de manera tan marcada la dominancia de los carbonatos.

8.2. Nuevos registros de ostrácodos en el Lago de Chalco

Durante las recolectas realizadas de marzo de 2015 a mayo de 2016, se encontraron tres especies de ostrácodos, los cuales no habían sido registrados previamente para el actual Lago de Chalco: *Potamocypris smaragdina* (Vávra, 1891), *Potamocypris unicaudata* Shäfer, 1941 y *Candona* sp. (Fig. 7).

Es importante mencionar que las mayores abundancias pertenecieron *P. smaragdina* en comparación de *P. unicaudata* (10 valvas) y *Candona* sp. (14 valvas) las cuales fueron reducidas y por ello solo se describió detalladamente esta especie.

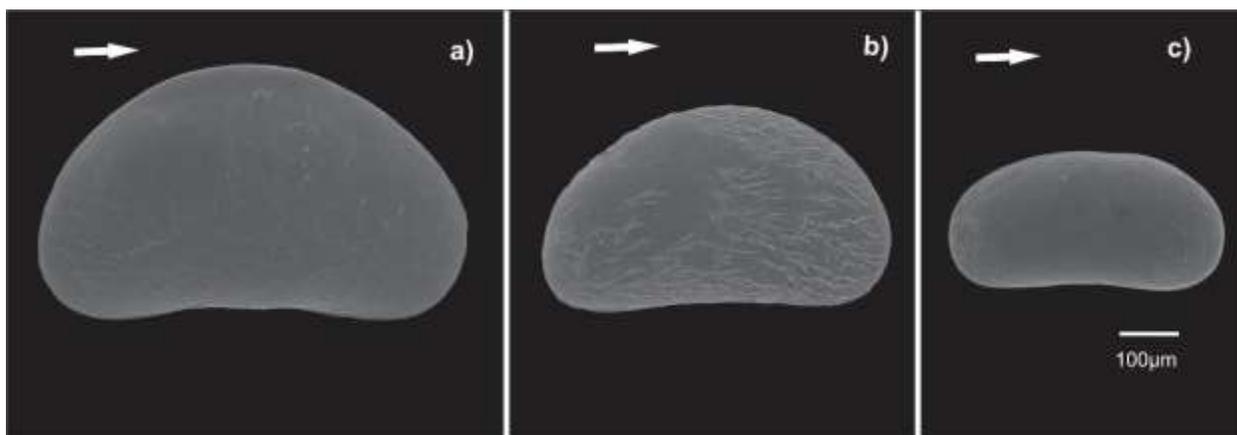


Figura 7. Valvas derechas de adultos de a) *Potamocypris unicaudata*, b) *Potamocypris smaragdina* y valva derecha de juvenil de *Candona* sp.

8.3. Sistemática y ecología de *Potamocypris smaragdina* (Vávra, 1891)

Subfilo **Crustacea** Brünnich, 1772

Clase **Ostracoda** Latreille, 1806

Subclase **Podocopa** G. W. Müller, 1894

Orden **Podocopida** G. O. Sars, 1866

Suborden **Cypridocopina** Baird, 1845

Superfamilia **Cypridoidea** Baird, 1845

Familia **Cyprididae** Baird, 1845

Subfamilia **Cypridopsinae** Kaufmann, 1900

Género ***Potamocypris*** Brady, 1870

Potamocypris smaragdina (Vávra, 1891)

Material examinado: 10 machos y 10 hembras, el material esta resguardado en el Instituto de Geología, UNAM.

Diagnosis: El género *Potamocypris* se caracteriza por presentar el segmento terminal del palpo de la maxílula en forma de espátula. La valva derecha es más alta en la parte media del caparazón y al mismo tiempo traslapa a la izquierda en la región dorsal. En la parte anterior la valva izquierda traslapa la valva derecha. La zona marginal de la valva izquierda presenta un borde o pestaña (Flange) parecido a un lóbulo, presentándose también en la parte posterior de la valva izquierda. En la parte interior de ambas valvas se observaron poros (Fig. 8).

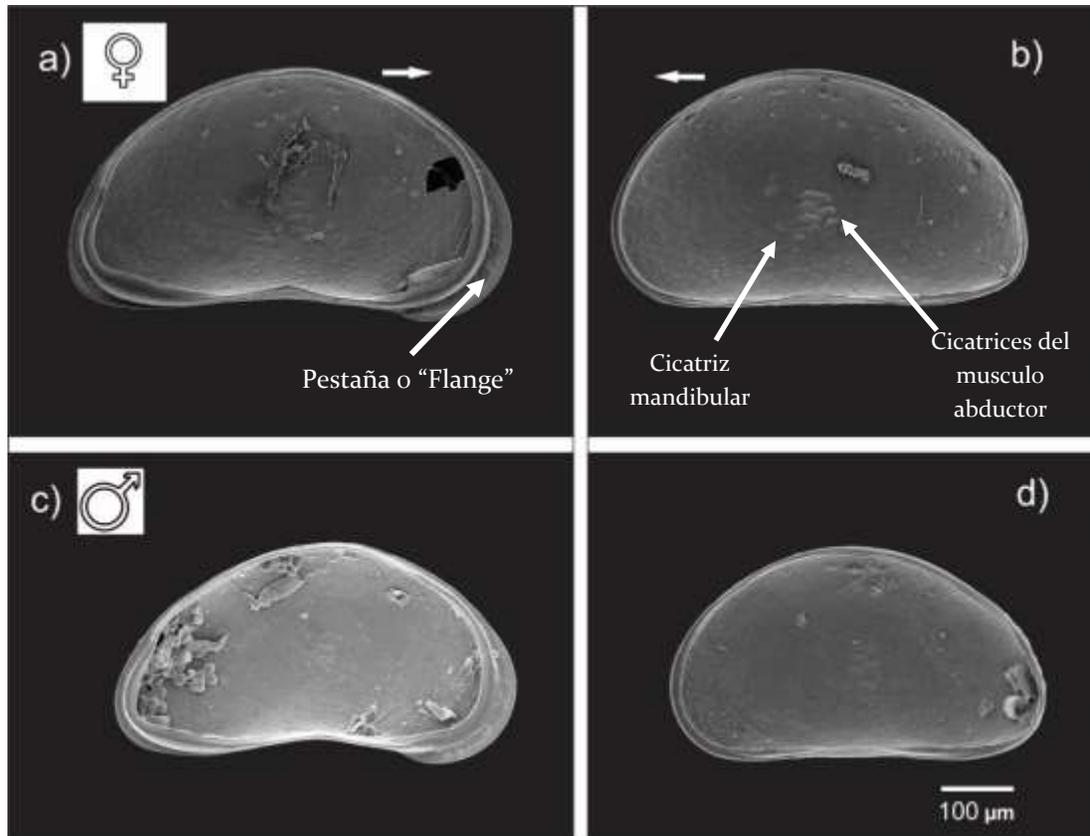


Figura 8. Valvas derecha e izquierda de *Potamocypris smaragdina*. Hembra: a) valva izquierda, b) valva derecha; macho: c) valva izquierda, d) valva derecha. Escala 100 µm.

En vista dorsal, en la parte anterior del caparazón, la valva izquierda se sobrepone a la valva derecha, asimismo la valva izquierda es ligeramente más alargada que la derecha. Ambas valvas están cubiertas por sedas cuya dirección es hacia la parte posterior. Los organismos del Lago de Chalco no presentaron dos bandas verdosas transversales en el caparazón, el color verdoso es uniforme tanto en el macho y como en la hembra. Margen ventral, ligeramente sinuoso. Las hembras son más altas (360-

390 μm) y alargadas (620-680 μm) a comparación de los machos, los cuales son menos elongados y con una altura del caparazón menor (Hoff, 1942; Tressler, 1954) (Fig. 8).

En el caso de *P. smaragdina*, las sedas natatorias de la antena son alargadas y extendidas hacia las puntas de las garras terminales de la antena. Primer palpo de la maxílula con cuatro espinas en la parte terminal. Presenta un filamento en la placa branquial del segundo maxilípodo (Fig. 9).

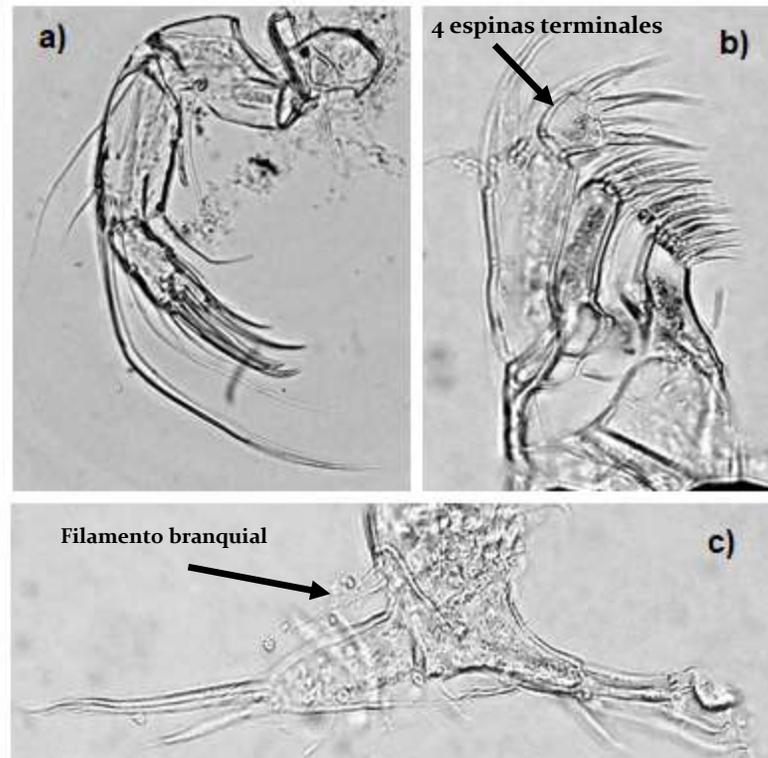


Figura 9. Estructuras morfológicas de importancia taxonómica. a) antena, b) maxílula y c) quinta pata o maxilípodo (40x).

Distribución en otras partes del mundo: Meisch (2000) menciona que *P. smaragdina* fue registrada en distintas localidades de Europa, mismas que están disponibles en la base de datos de Fauna Europaea (<https://fauna-eu.org/>). De manera similar en el continente americano, ha sido registrada ampliamente en distintas localidades de Canadá y Estados Unidos, sin embargo, en México, se tiene una localidad no especificada en el centro, de acuerdo con la NANODE (North American Non-Marine Ostracode-Database-Project (<http://www.personal.kent.edu.>)).

Distribución en México: Tressler (1954), menciona que se tiene registrada *P. smaragdina* en México, sin especificar la localidad. Pérez *et al.* (2015) mencionan el

registro de *P. smaragdina* en el centro-este de México. Sin embargo, por las características de la valva derecha, corresponde a *P. unicaudata* (ver Meisch, 1985).

Ecología: Es común encontrar a *P. smaragdina* en la zona litoral y en la zona bentónica de lagos poco profundos (2-3 metros), como lo es el Lago de Chalco. Se encuentran en cuerpos de agua permanentes y estacionales. Puede tolerar los incrementos de la salinidad, variaciones en la temperatura y altos valores de pH. Las poblaciones son singámicas o con reproducción sexual, es decir se presentan machos y hembras (Ferguson, 1944; Meisch, 1985, 2000).

Estructuras de importancia taxonómicas: El hemipene es una estructura importante desde el punto de vista taxonómico (Karanovic, 2012). En referencia a los machos de *P. smaragdina* del Lago de Chalco, presentaron un hemipene bilobulado parecido al encontrado y descrito por Furtos (1933) y Hoff (1942). Sin embargo, el que se describe aquí, tiene forma bilobulada, aunque presenta una serie de dientes en la región distal del lóbulo más ancho, y que no se había mencionado en los trabajos anteriores. En cuanto al órgano de zenker de los machos de *P. smaragdina* de Illinois, presentan una variación en el número de espinas registrado por Hoff (1942) que va de 13-15 con respecto a los machos del Lago de Chalco, los cuales presentan solo 12 (Fig. 10). Por lo anterior, sería conveniente hacer una comparación y descripción minuciosa de estas estructuras, correspondiente al material biológico de las anteriores descripciones para determinar alguna variabilidad de *P. smaragdina*.



Figura 10. a) Hemipene bilobulado de *P. smaragdina*, la flecha indica la región donde se presentan los dientes distales; b) órganos de zenker con 12 espinas (10x, microscopio óptico).

8.4. Conteos y mediciones generales

Se revisaron y agruparon todas las valvas separadas, caparazones vacíos y organismos con partes blandas de las 12 muestras que corresponden a cada mes, de marzo de 2015 a mayo de 2016. En total se contabilizaron 9230 valvas separadas y caparazones vacíos articulados (Fig. 11 y Tabla 2), de las cuales se midieron 1326 y que representaron más del 10% del total.

Por otra parte, de los 474 individuos con partes blandas todos se sexaron (Fig. 12 y Tabla 3). Asimismo, se realizaron 15 disecciones para corroborar la taxonomía de la especie *Potamocypris smaragdina*, lo cual fue apoyado con las claves de Meisch (1985, 2000), la descripción de Tressler (1954) y el trabajo de Delorme (1970).

8.5. Conteos y mediciones de las valvas separadas y caparazones vacíos de *Potamocypris smaragdina*

De acuerdo con los datos obtenidos, del total de valvas separadas y caparazones vacíos (9230) se concentró un gran número de valvas entre los meses de diciembre de 2015 a abril de 2016, que en total suman el 79 % del total (7262). El mes de marzo de 2016 tuvo el mayor porcentaje de valvas (33%, 3068 valvas), mientras que mayo de 2016 fue el más bajo, con 1% (48 valvas) (Fig. 11, Tabla 2). Es importante destacar que en todos los meses la proporción de valvas juveniles fue superior a la de los adultos.

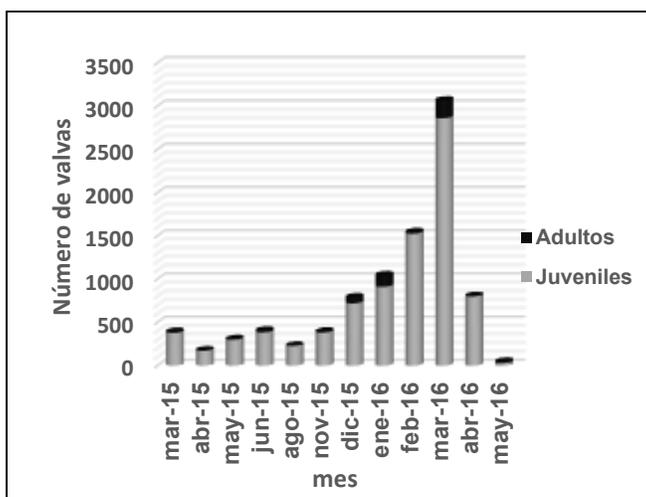


Figura 11. Número de valvas registradas por mes, entre marzo de 2015 a mayo de 2016 en sedimentos superficiales del Lago de Chalco, Cuenca de México.

Tabla 2. Registro total y proporción de valvas de organismos adultos y juveniles, de marzo de 2015 a mayo de 2016.

| Mes | Mar-2015 | Abr-2015 | May-2015 | Jun-2015 | Ago-2015 | Nov-2015 | Dic-2015 | Ene-2016 | Feb-2016 | Mar-2016 | Abr-2016 | May-2016 | Total |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Adultos | 14 | 6 | 10 | 23 | 2 | 12 | 71 | 135 | 20 | 206 | 6 | 17 | 522 (6%) |
| Juveniles | 380 | 173 | 300 | 385 | 231 | 384 | 721 | 913 | 1527 | 2860 | 801 | 31 | 8708 (94%) |
| Total | 394 | 179 | 310 | 408 | 233 | 396 | 792 | 1048 | 1547 | 3068 | 807 | 48 | 9230 |

8.6. Estructura poblacional basada en caparazones vacíos y valvas separadas de *P. smaragdina*

Al graficar las medidas de alto, largo y ancho de los 161 caparazones vacíos, se reconocieron nueve etapas de desarrollo, de adultos (A) a juveniles (A-8). Lográndose diferenciar también, entre hembras y machos (Fig. 12).

Por otra parte, se observó que las valvas derecha e izquierda de *P. smaragdina* presentaron diferencias en tamaño y forma. La valva izquierda es más larga que la derecha, pero la derecha es más alta que la izquierda. En cuestión de sexos, las hembras son más largas, altas y anchas que los machos, apreciando esta característica como un dimorfismo sexual, aunque no tan marcado (Tabla 3).

Tabla 3. Promedios de largo, alto y ancho del caparazón, de las diferentes etapas de desarrollo de *Potamocypis smaragdina*. N=161.

| Etapa | Largo (µm) | | Alto(µm) | | Ancho (µm) | N |
|-------|------------|-----|----------|-----|------------|----|
| | VD | VI | VD | VI | | |
| A (H) | 588 | 602 | 331 | 308 | 224 | 9 |
| A (M) | 541 | 554 | 298 | 284 | 198 | 12 |
| A-1 | 480 | 489 | 263 | 252 | 181 | 9 |
| A-2 | 407 | 409 | 224 | 223 | 152 | 10 |
| A-3 | 336 | 343 | 198 | 199 | 129 | 8 |
| A-4 | 280 | 281 | 170 | 167 | 108 | 9 |
| A-5 | 237 | 238 | 149 | 150 | 100 | 14 |
| A-6 | 189 | 188 | 123 | 121 | 84 | 17 |
| A-7 | 157 | 158 | 108 | 107 | 75 | 36 |
| A-8 | 132 | 132 | 93 | 92 | 60 | 37 |

Nota: VD= Valva Derecha; VI=Valva Izquierda; AH=Hembras adultas; AM=Machos adultos.

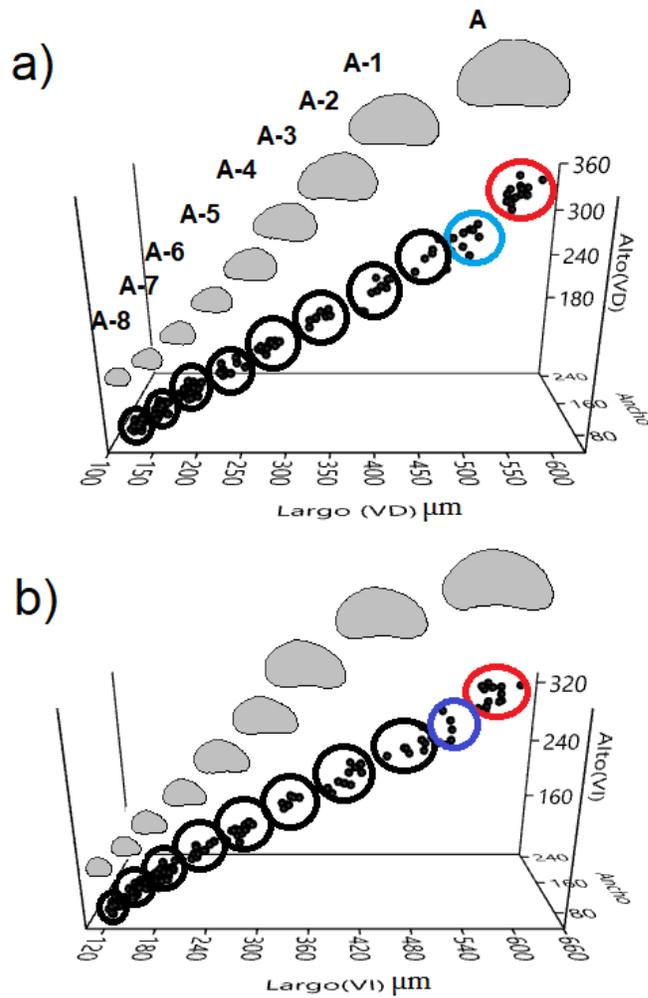


Figura 12. Representación de los caparazones vacíos de *P. smaragdina*, medidos en largo, alto y ancho a) considerando la valva derecha (VD) y b) la valva izquierda (VI). Se observan nueve etapas de desarrollo, de las cuales los adultos se diferencian en machos (azul) y hembras (rojo). N=161.

Las nueve etapas encontradas fueron en gran parte corroboradas mediante la aplicación de la densidad de Kernal en una gráfica de tipo histograma (Fig. 13). A partir de estas graficas se obtuvieron ocho intervalos de tallas. Por otro lado, mediante una prueba exploratoria, se cultivó la especie en laboratorio y se observó la diferencia de tallas entre las etapas A-8 y A-7, que en los histogramas se apreció como un solo intervalo (Tablas 4 y 5). La etapa A-8 presentó un intervalo de talla de la valva izquierda de 123 a 143 μm de largo, similar al de la valva derecha, y la etapa A-7 presentó un intervalo de 147-166 μm de largo, aproximadamente.

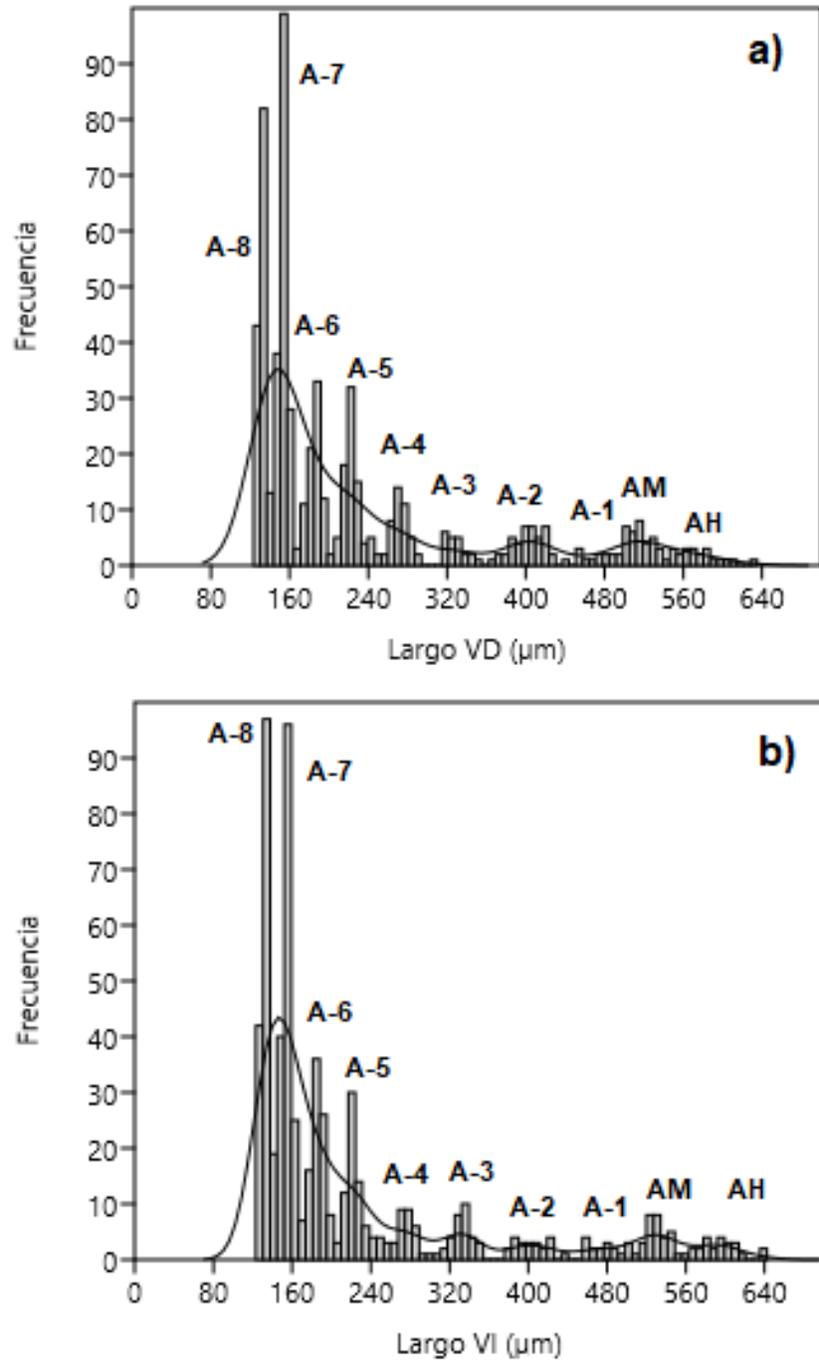


Figura 13. Agrupaciones de las distintas etapas de desarrollo mediante las densidades de Kernal. Muestra las frecuencias de las medidas de largo de las valvas derechas (a) e izquierda (b), se observan todas las etapas de desarrollo desde los adultos machos y hembras a el primer juvenil A-8. Basadas en mediciones de valvas separadas y caparazones vacíos (N=1281 valvas), AM: Adultos Machos, AH: Adultos Hembras.

Tabla 4. Intervalo de tallas de las diferentes etapas de desarrollo de *Potamocypris smaragdina* basado en valvas izquierdas de caparazones vacíos y valvas desarticuladas, colectadas de muestras de sedimento superficial del lago de Chalco, Cuenca de México. N=641.

| Etapa | Intervalos del Largo de la valva izquierda (μm) | Promedio (μm) | N |
|-------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|
| A (H) | 572-642 | 598 | 21 |
| A (M) | 496-568 | 531 | 37 |
| A-1 | 455-489 | 471 | 13 |
| A-2 | 382-438 | 404 | 22 |
| A-3 | 309-349 | 331 | 32 |
| A-4 | 239-296 | 269 | 40 |
| A-5 | 219-238 | 225 | 42 |
| A-6 | 170-218 | 191 | 116 |
| A-7 | 147-166 | 155 | 161 |
| A-8 | 123-143 | 133 | 158 |

H=Hembras, M: Machos

Tabla 5. Intervalo de tallas de las diferentes etapas de desarrollo de *Potamocypris smaragdina* basado en valvas derechas de caparazones vacíos y valvas desarticuladas colectadas en muestras de sedimentos superficial del lago de Chalco, Cuenca de México. N= 640.

| Etapa | Intervalos del Largo de la valva derecha (μm) | Promedio (μm) | N |
|-------|------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|
| A (H) | 574-634 | 594 | 10 |
| A (M) | 496-570 | 526 | 47 |
| A-1 | 452-490 | 470 | 11 |
| A-2 | 367-439 | 402 | 43 |
| A-3 | 314-349 | 328 | 21 |
| A-4 | 240-293 | 268 | 49 |
| A-5 | 219-235 | 225 | 51 |
| A-6 | 171-218 | 192 | 102 |
| A-7 | 148-168 | 154 | 168 |
| A-8 | 123-138 | 132 | 138 |

H=Hembras, M=Machos.

De las medidas que se realizaron, se obtuvo que las hembras tuvieron de largo máximo $>600 \mu\text{m}$ y con un mínimo superior a $570 \mu\text{m}$ (Tablas 4 y 5). En cuanto a los machos, estos presentaron en promedio de largo de la valva izquierda $531 \mu\text{m}$ y $526 \mu\text{m}$.

Los juveniles fueron más abundantes que los adultos, y la etapa A-6, A-7 y A-8 tienen el mayor número de valvas (Fig. 14). Esta última etapa presentó 123 μm como medida mínima del largo en ambas valvas (Tablas 4 y 5).

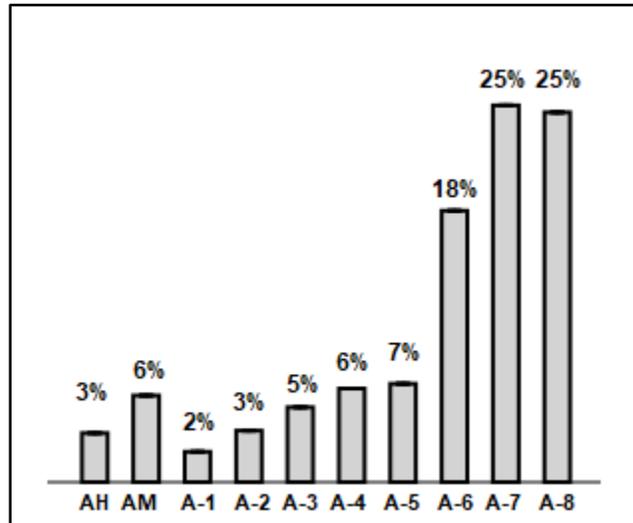


Figura 14. Diagrama de las proporciones de los estados de muda de *P. smaragdina* obtenidos en muestras de sedimento superficial del Lago de Chalco, Cuenca de México. (N=641 valvas).

La variabilidad morfológica que presentan las valvas de los adultos y los juveniles fue apreciada mediante fotografías en microscopía electrónica (Fig. 15). Las valvas de los adultos presentan cerdas en dirección hacia la parte posterior en toda la superficie y van adquiriendo una forma redondeada en la región dorsal y ligeramente sinuosa en la ventral. Mientras que la superficie de las valvas de los juveniles es reticulada y la parte posterior es alargada lo que les da una forma triangular. Por otro lado, los juveniles A-8 en general, presentaron un caparazón redondeado, careciendo del alargamiento de la parte posterior, la cual se comienza a adquirir en la etapa A-7.

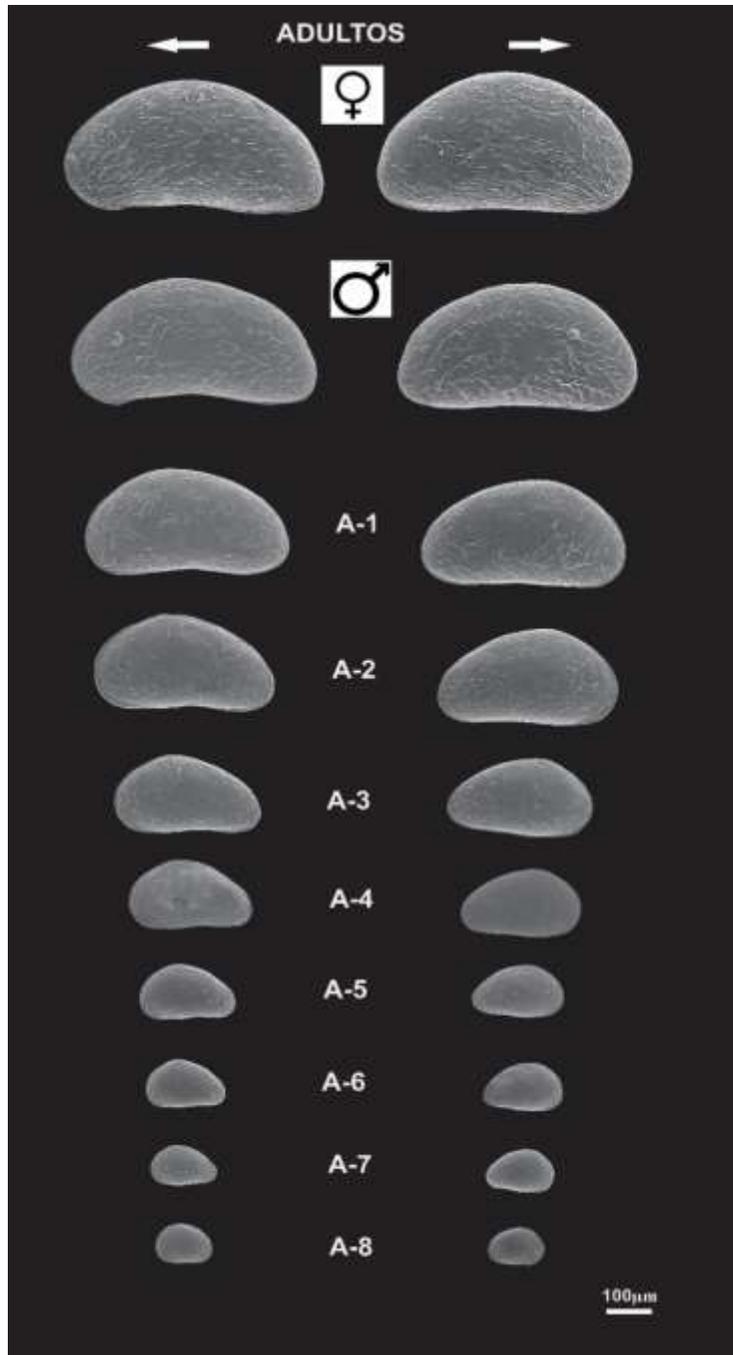


Figura 15. Valvas derechas e izquierdas de las distintas etapas de desarrollo de *P. smaragdina*. El largo de las valvas se da a continuación: Adulto hembra: 575 μm valva derecha (VD), 586 μm valva izquierda (VI); Adulto macho (535 μm VD, 555 μm VI); A-1 (457 μm VD, 463 μm VI); A-2 (405 μm VD, 410 μm VI); A-3 (325 μm VD, 330 μm VI); A-4 (275 μm VD, 280 μm VI); A-5 (210 μm VD, 215 μm VI); A-6 (180 μm VD, 182 μm); A-7 (150 μm VD, 152 μm VI); A-8 (125 μm VD, 125 μm VI).

8.7. Proporción sexual de *Potamocypris smaragdina* basada en organismos con partes blandas

En cuanto al registro de organismos con partes blandas, se obtuvo que del total (474), el mes de diciembre de 2015 presentó el mayor porcentaje (21 %, 99 organismos), mientras que el mes de agosto de 2015 obtuvo el menor (1 %, 6 organismos) (Tabla 6, Fig. 16).

Al medir, revisar y sexar los organismos con partes blandas de *Potamocypris smaragdina* para determinar la estructura poblacional, se encontraron solo formas adultas. Se identificaron 236 machos que representaron el 49.8% del total y 238 hembras con un porcentaje similar (50.2%) (Tabla 5).

Tabla 6. Registro del total de organismos con caparazón y partes blandas por cada mes, de marzo de 2015 a mayo de 2016

| Mes | Mar-2015 | Abr-2015 | May-2015 | Jun-2015 | Ago-2015 | Nov-2015 | Dic-2015 | Ene-2016 | Feb-2016 | Mar-2016 | Abr-2016 | May-2016 | Total (%) |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Machos | 9 | 14 | 10 | 23 | 5 | 19 | 46 | 30 | 30 | 24 | 16 | 10 | 236 (49.8 %) |
| Hembras | 5 | 7 | 10 | 30 | 1 | 24 | 53 | 26 | 36 | 21 | 18 | 7 | 238 (50.2%) |
| Total | 14 | 21 | 20 | 53 | 6 | 43 | 99 | 56 | 66 | 45 | 34 | 17 | 474 |

Las mayores abundancias totales de hembras y machos ocurrieron entre los meses de noviembre de 2015 a marzo de 2016, lo cual representa 65 % del total. También es destacable la tendencia que toma la gráfica, debido a que se encontró un menor número de organismos en los primeros meses de muestreo, aumentando subsecuentemente y para abril-mayo de 2016 decae la abundancia nuevamente (Fig. 15c). De las mayores abundancias por sexo, en hembras (53 organismos) como en machos (46 organismos) se presentaron en el mes de diciembre y las menores en ambos sexos en el mes de agosto de 2015 (Tabla 5, Fig. 16 a y b).

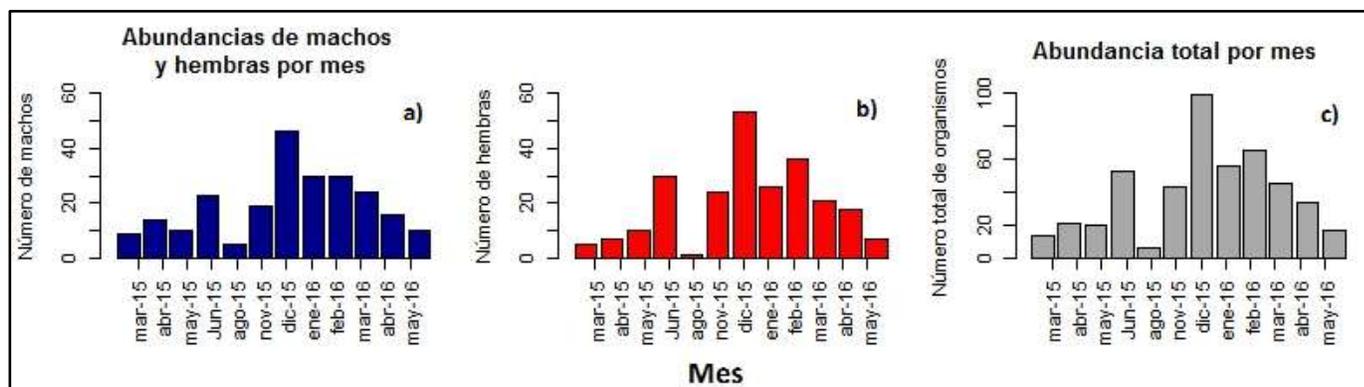


Figura 16. Número de machos, hembras y abundancias totales de *Potamocypis smaragdina* con partes blandas, registrados por cada mes. a) machos, b) hembras y c) totales, de marzo de 2015 a mayo de 2016.

En consideración a las medidas realizadas a los adultos con partes blandas en promedio las hembras fueron más largas, altas y anchas, a diferencia de los machos. Registrando las hembras medidas máximas del caparazón de 642 μm largo, 340 μm de alto, 234 μm de ancho, y los machos 572 μm , 305 μm y 225 μm , respectivamente.

Tabla 7. Medidas promedio del caparazón de los organismos adultos con partes blandas. Valva Derecha=VD, Valva Izquierda: VI.

| Sexo | Largo VD(μm) | Alto VD(μm) | Largo VI(μm) | Alto VI(μm) | Ancho (μm) | N |
|---------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-----|
| Hembras | 586 | 327 | 601 | 310 | 226 | 236 |
| Machos | 519 | 288 | 535 | 275 | 206 | 238 |

8.8 Relación entre las abundancias de *P. smaragdina* y los factores ambientales

A partir del primer análisis de correlación múltiple, se observó que hay asociaciones entre las abundancias totales de organismos con partes blandas y las distintas variables ambientales (Temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y clorofila *a*) (Fig. 17). En general las relaciones existentes con las abundancias fueron negativas débiles, aunque, la relación con concentración de oxígeno disuelto fue positiva ($r=0.57$). Otra asociación positiva fue entre el pH y la clorofila ($r=0.58$). Es destacable también, la relación negativa que se originó entre la abundancia de ostrácodos y la concentración de clorofila *a* ($r=-0.69$) (Fig. 17).

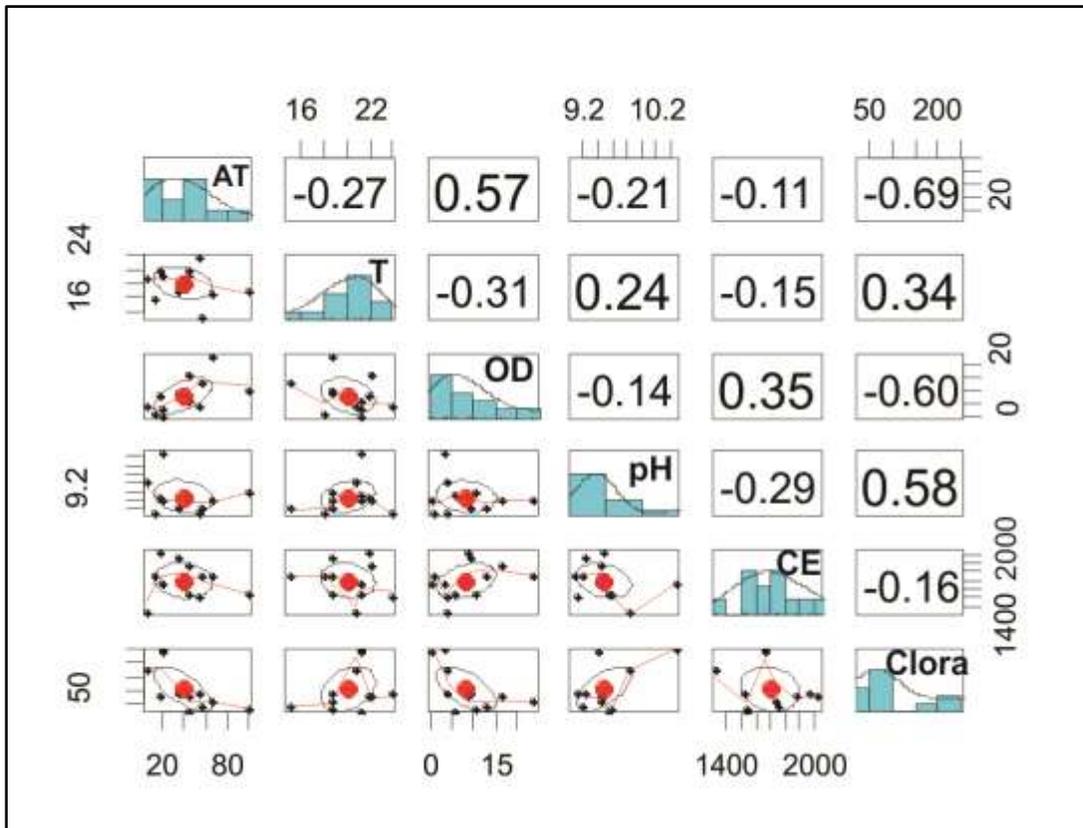


Figura 17. Análisis de correlación múltiple entre las abundancias totales y la temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica (CE) y clorofila a (Clora). Los valores corresponden al coeficiente de correlación de Pearson.

Del análisis de correlación múltiple entre las abundancias y las concentraciones de iones, se obtuvo que existe una relación positiva débil entre las abundancias de *P. smaragdina* y las concentraciones de potasio ($r=0.54$). De la misma manera, se presentó una relación negativa entre las abundancias y las concentraciones de sulfatos ($r=-0.64$) (Fig. 18). En cuanto a los demás iones, en general existió una relación negativa débil.

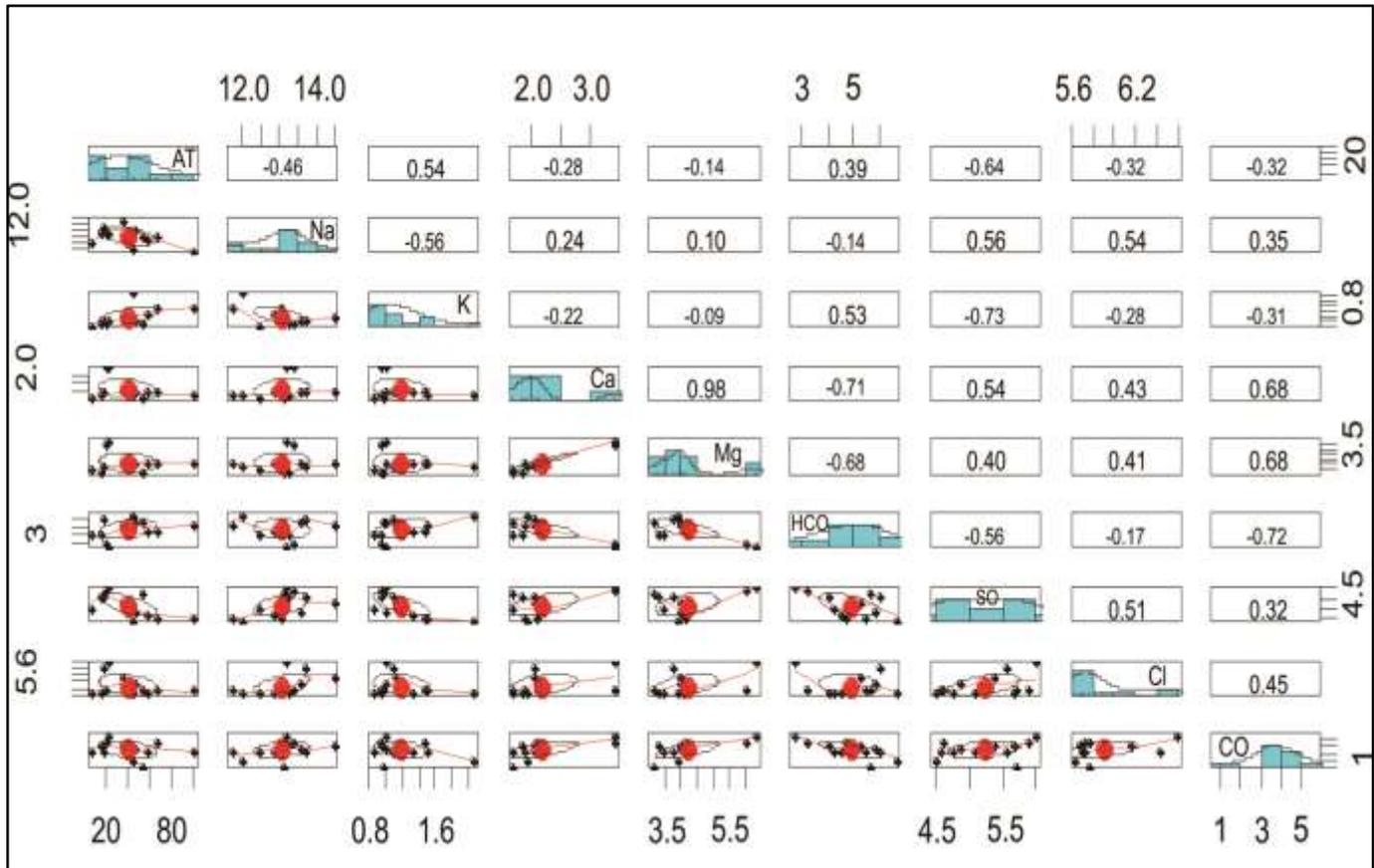


Figura 18. Análisis de correlación múltiple entre las abundancias totales de *P. smaragdina* (AT) y los cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) y aniones (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-})

8.9 Análisis numérico de las variables físicas y químicas en relación con las abundancias de *P. smaragdina* (organismos con partes blandas) del Lago de Chalco

El análisis de componentes principales de 13 parámetros medidos en el Lago de Chalco indicó que los dos primeros componentes explican 58.5% de la variación, con el factor 1 se explicó el 37.9% y con el factor 2 el 21.6% (Fig. 19). Asimismo, se logró identificar tres agrupaciones de las variables ambientales con las abundancias de los organismos con partes blandas de *P. smaragdina* y los meses de recolecta.

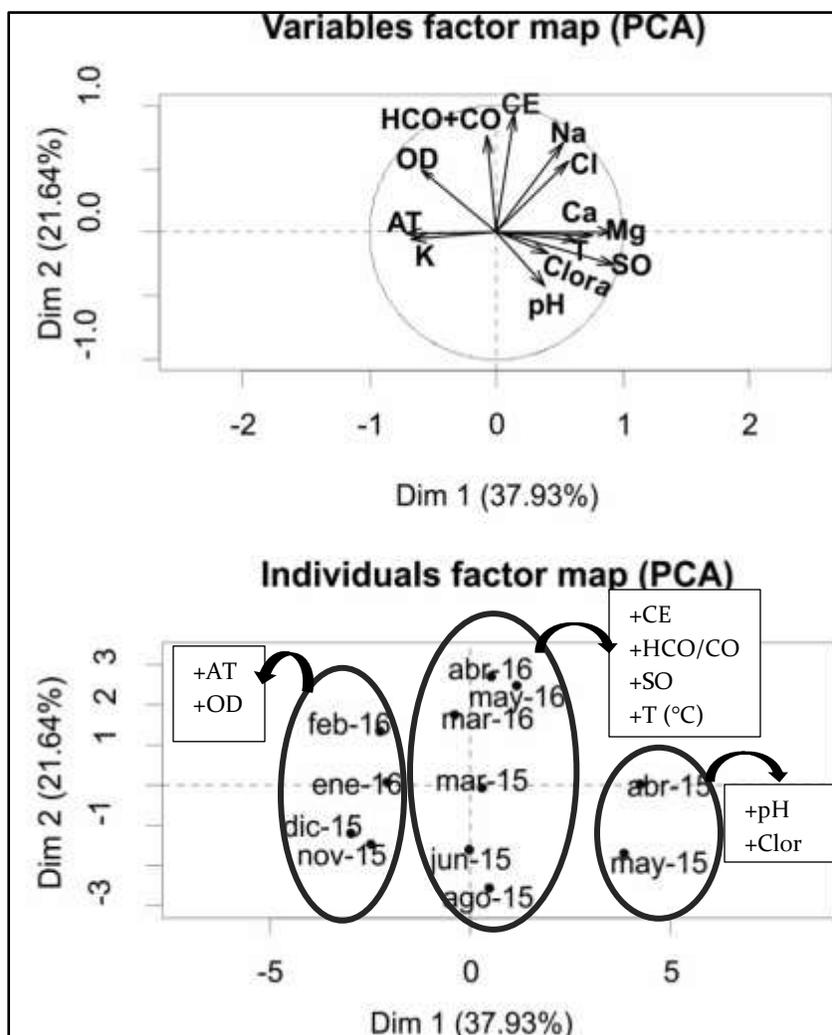


Figura 19. Definición de las agrupaciones de las variables ambientales con la abundancia de *P. smaragdina*. Abreviaciones: At=Abundancia Total, OD=Oxígeno Disuelto, CE=Conductividad Eléctrica, Clora=Clorofila *a*, T °C=Temperatura, Los demás elementos de los cuadros corresponden a los diferentes iones K, Ca, Mg, CO₃, HCO₃, SO₄²⁻.

La principal asociación se dio entre los meses de noviembre-diciembre de 2015 y enero-febrero de 2016, que correspondieron con altas abundancias de *P. smaragdina*, valores altos de oxígeno disuelto y potasio (K⁺). Adicional a esto, en dichos meses se presentaron en el lago, bajas temperaturas, bajas concentraciones de clorofila y sulfatos, lo cual podría estar relacionado con la estación seca (Fig. 19). Por el contrario, en los meses de marzo-junio-agosto de 2015 y marzo-abril-mayo de 2016 se tuvieron bajas abundancias y altos valores de conductividad, carbonatos-bicarbonatos, sulfatos y altas temperaturas. Para los meses de abril y mayo de 2015 que fue el tercer grupo,

se caracterizaron por bajas abundancias de organismos, altas concentraciones de clorofila y alto pH.

El análisis del modelo lineal generalizado obtenido para detectar que variables podrían estar determinando la dinámica de las abundancias de *P. smaragdina*, reveló que el grupo de variables que mejor lo explican, fueron el oxígeno disuelto, Conductividad, pH y SO_4^{2-} (AIC= 162.51) (Tabla 7). Las cuatro variables tuvieron un efecto significativo en las abundancias a excepción del Ca, mientras que el oxígeno disuelto destacó por tener un efecto positivo ($Z= 3.015$; $P= <0.001$). Por otro lado, el pH, la conductividad y los sulfatos presentaron un valor negativo sobre las abundancias de la población de *P. smaragdina*. Es decir, a mayores concentraciones de sulfatos, mayores valores de conductividad y pH, la abundancia de la población en el Lago de Chalco se espera que sea menor (Tabla 7, Fig. 20). Para corroborar lo anterior, el modelo fue validado con la prueba de X^2 ($P<0.001$).

Tabla 7. Resultado del GLM seleccionado, que toma en cuenta la abundancia de *P. smaragdina* en función de los parámetros ambientales.

| Variable respuesta | Variable explicativa | Estimado | Error estándar | Z | P |
|------------------------------------|----------------------|----------|----------------|--------|---------|
| Abundancia de <i>P. smaragdina</i> | Intercepto | 17.441 | 2.631 | 6.628 | <0.001* |
| | OD | 0.031 | 0.01 | 3.015 | <0.001* |
| | pH | -0.807 | 0.218 | -3.692 | <0.001* |
| | CE | -0.001 | 0.0003 | -2.995 | <0.001* |
| | SO_4^{2-} | -6.945 | 1.737 | -3.997 | <0.001* |
| | Ca | 1.366 | 0.783 | 1.744 | 0.08 |
| Validación del Modelo | | Gl | AIC | X^2 | P |
| AT~ OD+pH+CE+Ca+SO | | 6 | 162 | 0 | <0.001 |

Nota: Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad Eléctrica (CE); * significancia menor a 0.001.

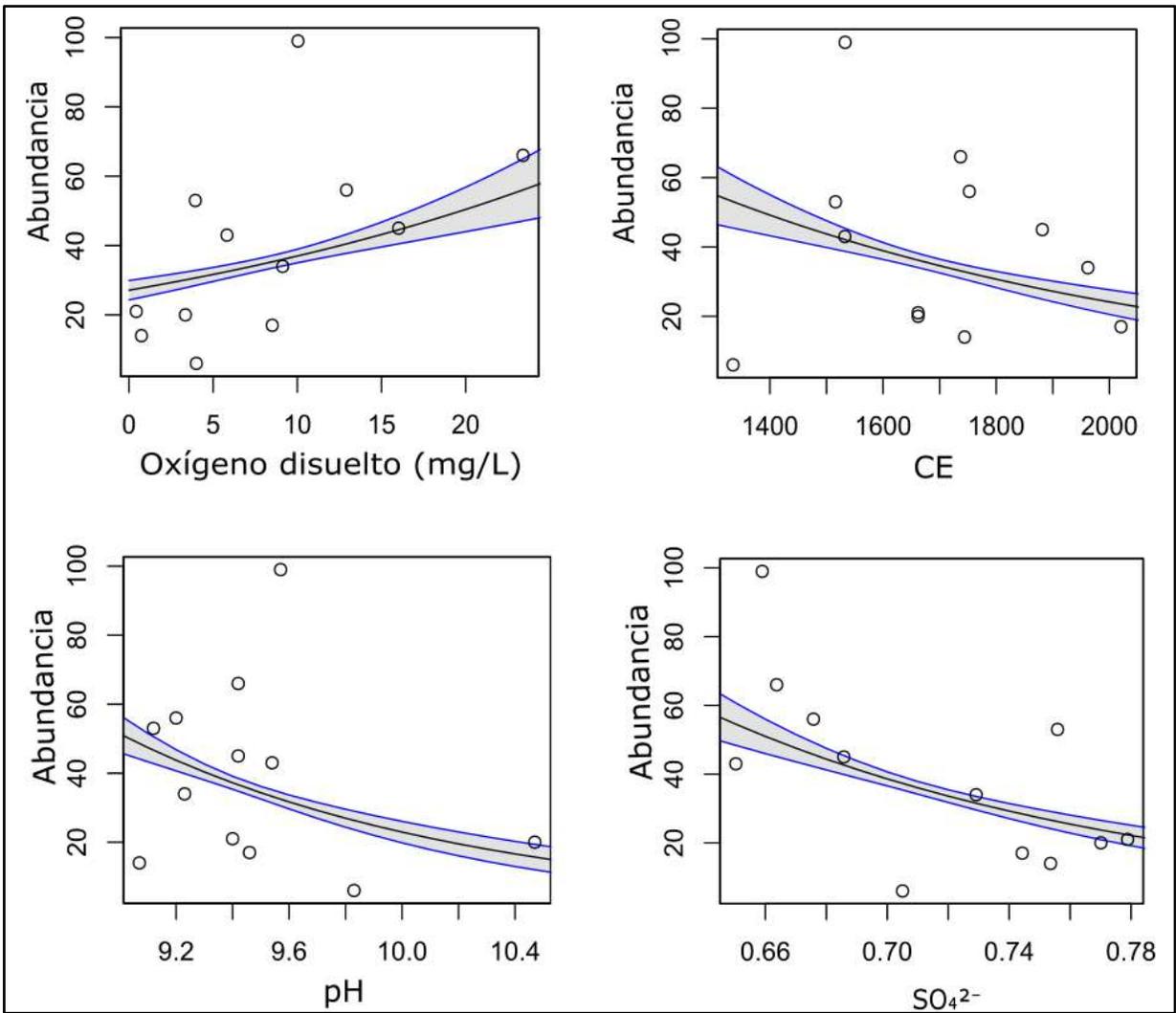


Figura 20. Representación gráfica del GLM de las variables que mejor explican la variación de las abundancias de *P. smaragdina*.

9. DISCUSIÓN

9.1. Limnología y condiciones ambientales del Lago de Chalco

Las características ambientales del Lago de Chalco durante el ciclo anual presentaron variaciones menores con respecto a lo reportado por Ayala-Pérez & Avilés-Alatraste (1997). Por ejemplo, el intervalo anual de temperatura fue similar, de 15-23°C en este trabajo, cuando anteriormente se tenía registrado entre 13-22°C. Lo mismo ocurrió con el oxígeno disuelto, se tenía registrado entre 1.4-17.5 mg/L y en este trabajo se obtuvieron intervalos un poco más amplios que van de los 0.43 a 23.41 mg/L. Por otro lado, los valores de pH incrementaron de tal manera que los valores máximos aumentaron por más de una unidad, con intervalos de 8.9-9.1 entre los años de 1993 y 1994 a intervalos de 9.1-10.4 entre 2015 y 2016.

Considerando los datos limnológicos del presente trabajo, los de Ayala-Pérez & Avilés-Alatraste (1997), y de acuerdo con el sistema de clasificación trófica de los lagos de la OCDE (1982), el Lago de Chalco se encuentra dentro de los lagos hipertróficos. En cuanto al tipo de salinidad, Chalco es un lago subsalino, ya que los valores de los sólidos disueltos totales obtenidos en los meses de recolecta fueron siempre superiores a los 1000 mg/L (Tabla 1). Fritz (2007) y Sigala *et al.*, (2017) categorizan un lago subsalino cuando los valores van de 500-3000 mg/L de SDT (Tabla 1, Fig. 4 y 5)

Los valores elevados de pH (>9) y salinidad en el Lago de Chalco, así como la dominancia iónica del sodio y carbonatos, son consistentes con las condiciones ambientales modernas, ya que se encuentra en una cuenca endorreica donde predomina un clima semiárido (Wetzel, 2001; Perocaino *et al.* 2015). Es muy probable que los altos valores de pH también se vean favorecidos por una alta productividad fotosintética asociada con la naturaleza hipertrófica de este cuerpo de agua, ya que se sabe que la concentración de CO₂ disuelto disminuye durante periodos intensos de fotosíntesis en aguas con alta productividad y es cuando las concentraciones de carbonatos aumentan (Wetzel, 2001). Este fenómeno, además, puede estar relacionado con los meses que presentaron mayor concentración de oxígeno disuelto (noviembre de 2015, enero de 2016), en los que la temperatura disminuyó de 21°C a 15°C. Asimismo, es probable que los vientos intensos de invierno ocasionen la máxima oxigenación de dichos meses al recircular la masa de agua (Caballero, Com. Per).

Un caso similar ocurrió en el lago Amatitlán, Guatemala, donde datos previos hacen constar cambios en el pH; en 1969 se presentaron valores de 7.7 y en 2008 Pérez *et al.*, (2011) registraron un pH de 9.3. Los autores mencionan que los cambios pudieron

ocurrir por la eutroficación acelerada del lago en las últimas décadas. Las aguas residuales generadas por la urbanización e industrias posiblemente fueron la principal fuente de contaminación, lo que pudo generar altas concentraciones algales y una coloración verde en el lago (Cooper, 1993). Sin embargo, es necesario tener información de otro tipo de indicadores de las condiciones limnológicas como la geoquímica de los sedimentos, para tener de forma puntual el tipo de sustancias causantes de la contaminación (Brodersen & Quinlan, 2006; Pérez *et al.*, 2011).

En el caso del Lago de Chalco, este presentó una fluctuación de oxígeno disuelto que permitió reconocer dos épocas: verano-otoño (lluvias), caracterizada por bajas concentraciones de oxígeno disuelto (0.74-4 mg/L) e invierno-primavera (secas) cuando las concentraciones aumentan de manera considerable (5-23 mg/L) (Tabla 1). El Lago de Chalco al igual que el lago de Pátzcuaro, son lagos subsalinos e hipertróficos y poco profundos (Sigala *et al.*, 2017). Sánchez-Chávez *et al.* (2011) realizaron mediciones ambientales del lago de Pátzcuaro entre 2006-2007, y determinaron que el lago presentó una concentración de oxígeno disuelto de 3.12-7.3 mg/L con una situación excepcional de hasta 18.3 mg/L. De acuerdo con los autores, la interpretación que dan sobre la constante oxigenación es debida a la mezcla que ocasiona el viento y por consecuencia la formación de corrientes que recircula el oxígeno, asimismo, la alta abundancia de fitoplancton también contribuyó de forma importante en el aumento de la concentración del oxígeno.

Una posible explicación que ocurre en Chalco es que, durante los meses de marzo y abril de 2015 se presentó mayor concentración de clorofila *a* y esto posteriormente produce biomasa que al degradarse consume el oxígeno y genera la anoxia (Carvalho *et al.*, 2001). Sin embargo, en los meses de mayo a noviembre de 2015, las concentraciones de oxígeno fueron aumentando de manera constante debido a la producción primaria, y salvo los dos meses de anoxia, el cuerpo de agua permaneció oxigenado la mayor parte del tiempo.

El vertimiento de aguas residuales sin tratar, así como las actividades agrícolas y ganaderas generan cambios en el estado trófico de los lagos (Alcocer & Bernal-Brooks, 2010), y por consecuencia modifican en general el pH, conductividad y oxígeno disuelto (Lotter *et al.*, 1998; Smith, 2003; Beltrán-Epele & Miserendino, 2015), lo cual está ocurriendo con el actual Lago de Chalco. A pesar de lo anterior, se requiere de monitoreos a largo plazo, incluyendo un mayor número de variables ambientales, tanto de la columna de agua como de los sedimentos superficiales para tener un mejor entendimiento de la dinámica del lago. Esto es de suma importancia si se pretende

conservar y restaurar el nuevo lago de Chalco, ya que este cuerpo de agua tiene un gran potencial de servicios ambientales si disminuyen los impactos antropogénicos, lo que mejoraría la calidad de vida de los habitantes cercanos al lago y en suma sería un ambiente más propicio para el desarrollo de la flora y fauna, especialmente para aves migratorias (Ayala-Pérez *et al.*, 2013).

A pesar de su importancia como ecosistema acuático, el actual Lago de Chalco ha presentado fluctuaciones en las condiciones tróficas y salinidad a lo largo del tiempo (Caballero, 1997). Es importante reconocer que hace 34,000 años antes del presente (AP) las diatomeas indicaron que Chalco era un lago alcalino (pH >9, CE ~2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y alrededor de 14,500 años AP el lago tenía aguas neutras (pH ~7, CE ~250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Caballero, 1997). Sin embargo, las condiciones pasadas son muy similares a las del presente e incluso algunas especies de diatomeas de esos fechamientos que fueron reconocidas como dominantes, e incluso son encontradas hoy en día con la misma dominancia en el sistema acuático (Buendía-Flores, 2018), lo que podría indicar que la sucesión de especies ocurre solo cuando la química del lago presenta fluctuaciones. Sin embargo, para el caso de los ostrácodos no se tiene ningún trabajo que mencione la presencia de alguna especie en particular para esas fechas o que permita reconocer que *P. smaragdina* se encontraba dominando en las mismas condiciones a las actuales. Ante esta situación, es de interés tener un seguimiento en su estudio y aplicación a futuros trabajos sobre los estados tróficos del lago, así como sobre sus especies bioindicadoras que contienen restos biológicos con excelente preservación, lo que permitirá realizar futuros estudios paleoecológicos y paleoambientales (Brown *et al.*, 2012, Lozano-García *et al.*, 2017).

9.2. Aspectos de distribución y taxonomía de *P. smaragdina*

La distribución de *P. smaragdina* en Europa, Asia, norte y sur América permiten catalogarla como una especie de amplia distribución (Meisch, 2000; Horne *et al.*, 2011; Ramón-Mercau *et al.*, 2012; KülKöylüoĖlu *et al.*, 2017). En el estudio de los ostrácodos de Texas y México, Tressler (1954) menciona que *P. smaragdina* se tiene registrada en México, pero no se detalló la localidad. Pérez *et al.* (2015) por otra parte, registraron con cierta incertidumbre a *P. smaragdina* en los lagos Aljojuca y Metztitlán en el centro-este de México, dada la ausencia de partes blandas. No obstante, la valva derecha que encontraron tiene mayor afinidad a *Potamocypris unicaudata*, porque la valva es redondeada en la parte dorsal, anterior y posteriormente, mientras que la valva derecha de *P. smaragdina* es redondeada en la parte anterior y la posterior es triangular (ver Meisch, 1985). Por lo que en este estudio se registró por primera

ocasión a *P. smaragdina* para el lago de Chalco, México. Sin embargo, se requiere de una revisión del material biológico de varias regiones para descartar que se trata de un complejo de especies (Baltanás, com. per.). De la misma manera, es indispensable que en futuros estudios taxonómicos se considere al hemipene del macho de *P. smaragdina* como un carácter determinante en la identificación de la especie (Karanovic, 2012), ya que en los machos de Chalco se presentó como característica distintiva una serie de pequeños dientes en la región distal. Ante este descubrimiento se sugiere hacer una revisión de los machos recolectados en algunos lagos de Estados Unidos y Canadá donde se han registrado poblaciones sexuales (Delorme, 1970), para corroborar si existe alguna variación e incluso determinar si se trata de especies distintas aunado al uso de métodos moleculares, como el código de barras.

9.3. Determinación parcial del ciclo de vida de *P. smaragdina*

Ferguson (1944) reconoció que la duración del ciclo de vida de *P. smaragdina* es de dos a tres meses en lagos temporales y artificiales de Missouri, E. U. A. Este autor basado en las abundancias de juveniles y adultos durante 15 meses de recolecta consideró que es una especie multivoltina, ya que las mayores abundancias de juveniles se presentaron en tres ocasiones. En este caso no fue posible distinguir los ciclos reproductivos mediante las abundancias de las valvas de juveniles muertos recolectadas en sedimentos superficiales del Lago de Chalco, ya que a pesar de que se analizaron únicamente los centímetros más superficiales estas pueden representar las valvas de varias generaciones pasadas (de días, semanas o meses) y no del período de recolecta, por lo cual se recomienda hacer una serie de recolectas en meses durante la estación seca y en meses de lluvias enfocándose exclusivamente en organismos vivos para determinar con mayor detalle los ciclos reproductivos estacionalmente.

Por observaciones personales de poblaciones aisladas y en condiciones relativamente estables en laboratorio (18-22°C), el multivoltismo de la especie fue representado por dos ciclos al año. Asimismo, en condiciones estables de temperatura a la especie le tomó 20 días pasar de la etapa A-8 a la etapa A-5. De acuerdo con Aguilar-Arberola & Mezquita-Joanes (2008, 2011) y Ganning (1971), el tiempo del ciclo de vida de los ostrácodos en condiciones de laboratorio y altas temperaturas (20°C) es relativamente rápido, entre 21 a 30 días. Sin embargo, para *P. smaragdina* es indispensable realizar cultivos en laboratorio para determinar el tiempo del ciclo de vida, tolerancias y efectos ante cambios en la temperatura, concentraciones de oxígeno disuelto y pH con mayor precisión. De esta manera su uso como indicador de condiciones ambientales actuales y pasadas en otras regiones de México y del mundo serán complementadas.

El Lago de Chalco actualmente es un ecosistema lacustre permanente, y en este trabajo se determinó que *Potamocypris smaragdina* presentó una reproducción sexual, dato que es importante, ya que las formas de reproducción de los ostrácodos son poco conocidas. Griffiths & Butlin (1995), analizaron que las ventajas de las poblaciones sexuales de ostrácodos son: altas tasas evolutivas, resistencia a los parásitos y mejor adaptación ante fluctuaciones ambientales, mientras que para las especies partenogénicas son: altas tasas de generaciones y rápida colonización de nuevos hábitats. De Decker (1983) investigó que algunas especies que presentan reproducción sexual habitan lagos permanentes, mientras que en ambientes efímeros o charcas temporales la partenogénesis es el mecanismo reproductivo predominante. Sin embargo, aún no es clara la correlación entre el tipo de reproducción y la ocupación de hábitats permanentes y estacionales (Griffiths & Butlin, 1995). Meish (1985) en su revisión del género *Potamocypris*, hace mención que las poblaciones de *P. smaragdina* registradas en la región europea son principalmente asexuales a comparación de las que se encuentran en el continente americano, que son reconocidas como poblaciones monosexuales (solo hembras) y sexuales (machos y hembras). Una posible respuesta que da este autor a este caso de partenogénesis geográfica es que a partir de las poblaciones americanas que invadieron la región europea, estas fueron capaces de expandirse y retener la partenogénesis como medio de reproducción, a pesar de su linaje sexual de las poblaciones americanas. A pesar de tener esta información son necesarias más investigaciones que contemplen otras áreas de distribución de *P. smaragdina* para corroborar que ante circunstancias de desecación de los cuerpos de agua la especie presenta solo un mecanismo reproductivo.

9.4. Estructura poblacional y aspectos biométricos de *P. smaragdina*

Al igual que todos los crustáceos, los ostrácodos presentan crecimiento discontinuo y determinado, ya que al llegar a la etapa adulta no vuelven a mudar (Smith & Martens, 2000; Danielopol *et al.*, 2008). Sin embargo, hay excepciones y existen especies que pueden mudar hasta 10 veces (Pereira *et al.*, 2017).

En el Lago de Chalco fue posible encontrar todas las etapas de desarrollo de *P. smaragdina*, de A-8 a los adultos machos y hembras (Fig. 13 y 15, Tablas 4 y 5). La determinación de la estructura poblacional de este ostrácodo fue posible gracias al uso del análisis de Kernal, que ayudó a asignar los diferentes grupos mediante la distribución de frecuencias de las tallas. Danielopol *et al.* (2008) afirmaron que uno de los problemas al asignar las diferentes etapas de desarrollo mediante medidas

alométricas con muchas valvas, es el solapamiento de las sucesivas etapas en crecimiento y en este trabajo no fue la excepción, ya que las dos primeras etapas, A-8 y A-7 se no era tan evidente la diferenciación. A pesar de esto, con el seguimiento del ciclo de vida con organismos vivos y aislados se obtuvieron las diferentes medidas de cada etapa, lo que permitió distinguir el solape. Por lo cual, es importante en medida de lo posible cuando se realicen estudios poblacionales, el aislamiento y mantenimiento de organismos vivos con el fin de dar seguimiento a su biología y llenar el vacío de conocimiento de las tallas de las etapas juveniles las cuales son desconocidas aun en muchas especies (Kesling, 1953).

Basado en el conteo de valvas desarticuladas y caparazones vacíos se obtuvo que la dominancia de las valvas y caparazones fue principalmente por los juveniles. Esto es explicado porque en ambientes lacustres donde se han encontrado todos los representantes de la ontogenia de una especie, es considerada como una población autóctona de un tipo de ambiente interpretado como de bajo transporte y oleaje (Whatley, 1988). Después de la desecación del Lago de Chalco, actualmente no tiene comunicación superficial con algún otro cuerpo de agua en el cual puedan transportarse las valvas de los juveniles y separarlas de las valvas de los adultos, por lo que fue posible encontrar las nueve etapas de desarrollo en el mismo sitio (Danielopol & Casale, 1988; Cronin, 2015). La proporción de juveniles de *P. smaragdina* obtenida en este estudio, permitió reconocer que su abundancia superior a la de las valvas de organismos adultos, es un resultado debido al número de etapas de desarrollo por las que pasa. Es decir, por cada organismo que llegó a la etapa adulta, le precedieron 16 valvas de juveniles, por lo que la proporción de valvas y caparazones adultos fue inferior (Cronin, 2015).

A pesar de que *P. smaragdina* está registrada en varias regiones del mundo y es considerada una especie cosmopolita (Meish, 2000), en este estudio se detalló parte de la biología de esta especie, dando a conocer a por primera vez que la población de Chalco presentó una reproducción sexual, así como características morfométricas de los estadios larvarios, la composición de la estructura de tallas y se documentó mediante fotografías las valvas de cada etapa de desarrollo. Al tener a detalle las dimensiones de las valvas de los adultos fue posible compararlas con otros registros en otras partes del mundo (Tabla 8) y de esta manera permitió discernir algunas variaciones con los organismos que se encontraron en Chalco.

Los organismos adultos de *P. smaragdina* recolectados en Chalco durante 2015 y 2016 tuvieron medidas parecidas a las de otras regiones del mundo (Tabla 8). Aunque, los

machos obtenidos por Hoff (1942) fueron ligeramente más grandes a comparación de los de Chalco y de Furtos (1933). En cuanto a las hembras registradas en Chalco estas fueron de menor tamaño al igual que las mencionadas por Hoff (1942). Por otro lado, las recolectadas en Francia (Meisch, 1985) y Argentina (Cusminsky *et al.*, 2005) fueron las de mayor tamaño y en ambos estudios no reportaron la presencia de machos.

Las variaciones morfológicas ocurren dentro de las especies biológicas y los ostrácodos no son la excepción. Ciertas especies de ostrácodos colectados en el Lago Petén Itzá, Guatemala, al ser comparados en cuestión de tallas con los descritos en la literatura, determinaron que fueron más pequeños, y una posible explicación es en parte por el ciclo de vida corto en los ambientes tropicales (Pérez *et al.*, 2010b). Por otro lado, en el estudio de las poblaciones de *Limnocythere atacamae* en Chile, reconocieron un patrón de tallas. El cual, en ambientes cálidos los individuos fueron más grandes que los de ambientes fríos (Scheihing *et al.*, 2011). Sin embargo, el patrón no siempre se cumple y ocurre también que en ambientes fríos de latitudes altas el oxígeno disuelto es mayor, lo que podría producir grandes tallas de los organismos (Zhang & Payne, 2012). Y en su contraparte, existe la hipótesis que altas temperaturas se espera producirán tamaños de cuerpo más grandes en los ostrácodos. Es decir, altas temperaturas se asocian con altas concentraciones de dióxido de carbono, el cual es el responsable de incrementar la productividad primaria del fitoplancton, que es parte de la dieta de los ostrácodos y al incrementar la disponibilidad de alimento es posible que generará un mayor crecimiento del cuerpo (Tolosa *et al.*, 2014). A pesar de lo anterior, la temperatura, la estacionalidad y la disponibilidad de oxígeno y alimento pueden estar determinando el patrón de tallas. Sin embargo, aún se sigue sin responder la interrogante de si la variación en el tamaño y la forma del caparazón es atribuida a cuestiones genéticas que correspondan con el sexo, dieta o a factores ambientales, como la temperatura (Kesling, 1953; Ikeya & Ueda, 1988; Scheihing *et al.*, 2011), por lo que se necesita elaborar estudios más detallados, tanto en laboratorio como en campo, para determinar las posibles causas y determinar un posible patrón latitudinal.

Tabla 8. Comparación de tallas en hembras y machos de *P. smaragdina* del Lago de Chalco, con los registros en otras regiones del mundo.

| Autor | Hembra Largo-Alto (μm) | Macho Largo-Alto (μm) | Ubicación geográfica |
|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Este estudio | 642-340 | 570-305 | México |
| Hoff (1942) | 635-367 | 580-313 | USA |
| Tressler (1954) | 650-375 | - | USA |
| Furtos (1933) | 680-370 | 555-290 | USA |
| Meisch (1985) | 695- | - | Francia |
| Cusminsky <i>et al.</i> (2005) | 776-467- | - | Argentina |

El uso de las de valvas o caparazones de los ostrácodos, ayudan a ilustrar la estructura poblacional mediante el agrupamiento de las medidas de alto y largo, e incluso ayudan a identificar si existe un dimorfismo sexual por tamaño (Ikeya & Ueda, 1988). Además, con la aplicación de métodos de morfometría geométrica en futuros estudios permitirá identificar variaciones de la forma del caparazón de individuos de distintas regiones (Kaesler & Foster, 1988). Aparte de revelar mucha información referente a la población de *P. smaragdina*, se propone utilizar las valvas y caparazones en estudios geoquímicos para tener información sobre las condiciones y constitución de la interface agua-sedimento (De Decker, 2002; Whatley, 1988).

9.5. Proporción sexual y dinámica poblacional de *P. smaragdina* en el Lago de Chalco

La proporción de hembras y machos de *P. smaragdina* registradas en el lago de Chalco fue 50% para cada sexo, durante el periodo de recolecta. Yamaguchi *et al.* (2017) mencionaron que las hembras sobreviven más que los machos después de la última muda debido a que la hembra es la responsable de producir y mantener los huevos hasta cierta madurez, por lo cual es esperado que exista una proporción más alta de hembras que de machos en un periodo determinado. Sin embargo, es preciso mencionar que depende de la biología de la especie, ya que se ha reportado que en algunos casos la proporción puede variar con la estacionalidad, existiendo machos solo en un par de meses principalmente en verano (Meish, 2000). En contraparte, Hamilton (1967) afirma que se espera que la proporción de ambos sexos en las poblaciones naturales se espera estén cercanas al equilibrio 1:1; sin embargo, puede haber discrepancias y la heterogeneidad en la proporción es la que se presenta en la mayoría de los casos, asumiendo que el resultado es posiblemente afectado por las condiciones del hábitat. Sin embargo, es poco claro el porqué de las proporciones de

cada especie estudiadas estacionalmente en un sitio y entre sitios sean diferentes, por lo que solo con una multitud de estudios sobre este aspecto se podría obtener un patrón y las posibles causas que conllevan a un resultado determinado (Namiotko & Martins, 2008).

Los ostrácodos que habitan las aguas continentales mudan su caparazón bivalvo en ocho ocasiones durante su desarrollo. En el proceso, el ambiente debe ser el adecuado para la calcificación de las valvas, además de que los organismos esperan a ciertas condiciones como variaciones estacionales en los niveles de oxígeno y temperatura para iniciar cada muda (Mezquita *et al.*, 1999; De Deckker, 2002; Mezquita *et al.*, 2005).

En este estudio, se encontraron las mayores abundancias de valvas articuladas y desarticuladas de juveniles y adultos con partes blandas de *Potamocypris smaragdina* en los meses de noviembre de 2015 a abril de 2016, meses considerados como secos y con registro de mayores concentraciones de oxígeno. Ferguson (1944), registró estacionalmente mayores abundancias de *P. smaragdina* durante meses cálidos de abril, mayo y septiembre en estanques de la región de Misuri, USA. Desafortunadamente, el autor no mencionó datos de las variables limnológicas con las cuales se pudieran relacionar las mayores abundancias de organismos con partes blandas.

Las poblaciones de ostrácodos también están limitadas y definidas por la hidroquímica de los lagos, especialmente la composición de solutos (Forester, 1983, 1986). *P. smaragdina* en este estudio fue recolectada en aguas hipertróficas, alcalinas y subsalinas, dominadas por sodio y bicarbonatos, con conductividades entre 1335-2020 $\mu\text{S cm}$. Smith (1993) encontró esta especie en diferentes lagos de Estados Unidos, que en general fueron caracterizados por la dominancia de iones bicarbonato, calcio y magnesio, con conductividades entre 305-1400 $\mu\text{S cm}$. Lo anterior se asemeja a lo reportado en este trabajo, lo cual sugiere que es una especie adaptada a vivir en lagos con cierta preferencia hacia aguas donde químicamente domina el bicarbonato y relativamente altas conductividades.

En este estudio, se reconoció que ante valores de conductividad superiores a 1500 e inferiores a 2000 $\mu\text{S/cm}$ se obtuvieron las mayores abundancias de organismos con partes blandas de *P. smaragdina*. Nielsen *et al.* (2003) mencionaron que las aguas con altas concentraciones de sales disueltas (Na-Cl), pueden tener un efecto adverso sobre la biota acuática, al exceder los 1000 mg/L equivalentes a 1500 $\mu\text{S/cm}$ de CE, lo que también puede ocasionar que en los lagos exista una dominancia por pocas especies que estén adecuadas a vivir en determinadas concentraciones de sales. Asimismo,

observaron que las abundancias de los microcrustáceos, como los ostrácodos, se pueden ver afectadas de manera negativa al aumentar la conductividad. Pero en el caso particular de *P. smaragdina* de Chalco tuvo su óptimo de abundancias en conductividades superiores a los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que podría indicar que la población de estos ostrácodos que habitan el lago prefiere y tolera mejor que otros organismos altas concentraciones de sales del medio.

Aunado a lo anterior, Curry (1999) reconoció mediante un índice de tolerancia ambiental, que *P. smaragdina* es una especie que tolera un rango intermedio de condiciones de salinidad expresada como Sólidos Disueltos Totales, de un mínimo de 82 mg/L a un máximo de 3306 mg/L. En Chalco las concentraciones de los SDT fueron siempre mayores a 1000 mg/L durante los meses de recolecta lo cual entra dentro del intervalo mencionado.

Por otra parte, las bajas abundancias de *P. smaragdina* se relacionaron también con los meses en los que se registraron las mayores concentraciones de clorofila. De acuerdo con Medina-Júnior & Rietzler (2005) las altas concentraciones de clorofila en ambientes salinos y alcalinos pueden estar asociadas con densos florecimientos de cianobacterias y es posible que este sea el caso en Chalco. Dichos florecimientos han sido correlacionados negativamente con las abundancias de las poblaciones del zooplancton, debido a la toxicidad causada por la cianobacteria *Microcystis*. Esta cianobacteria fue registrada por Barreiro-Güemes & López-Barreiro (1997) y por Tavera & Buendía-Flores (com. per) en el Lago de Chalco en altas abundancias. Por lo que, ante estos aumentos de los niveles de clorofila, podría ser una de las causas de la disminución de las abundancias de *P. smaragdina* en los meses de abril, mayo y agosto de 2015 (Fig. 15 y 16). Aunado a lo anterior, es posible que la baja transparencia también este influyendo de manera que el efecto en la población de ostrácodos repercuta en sus abundancias. Sin embargo, se requiere de más pruebas tanto en campo como de laboratorio para corroborar este supuesto.

Durante los 12 meses de muestreo en el Lago de Chalco, *P. smaragdina* fue recolectada en un pH siempre superior a 9. De acuerdo con las características limnológicas de los pantanos del norte de Italia, *P. smaragdina* está asociada junto con otras especies a altos valores de pH (9.67), y tiene preferencias por aguas bastante oxigenadas (17 mg/L) (Rossetti *et al.*, 2004). Lo anterior se corroboró en esta investigación, ya que, al aumentar las abundancias de noviembre 2015 a abril del 2016 en el Lago de Chalco, indicó que esta especie prefiere los meses cuando las altas concentraciones de oxígeno son las adecuadas (Allen & Dodson, 2011).

La concentración y composición iónica en un cuerpo de agua permite la presencia o ausencia de las especies de ostrácodos (Forester, 1986, Smith, 1993). De la prueba de correlación y del Modelo Lineal Generalizado se determinó que las abundancias de *P. smaragdina* pueden ser afectadas negativamente por las concentraciones del sulfato en el Lago de Chalco, las cuales tuvieron un intervalo de 215-288 mg/L iguales a 4-6 mEq/L (Tabla 1). En la revisión sobre la calidad del agua por la presencia de sulfatos en ríos y lagos de Canadá, consideraron que este ion puede tener efectos tóxicos en altas concentraciones (>200 mg/L), ya que afectan negativamente la reproducción, crecimiento y sobrevivencia de los invertebrados acuáticos (Meays & Nordin, 2013). A pesar de tener evidencias de los efectos, son necesarios más estudios de ecofisiología y toxicología que sustenten aún más los efectos, y en este caso considerar también a los ostrácodos como organismo modelo para llevar a cabo dichas indagaciones.

En ecosistemas lacustres que presentan características de contaminación antropogénica es común que se registren altos valores de contenido aniónico, sustrato lodoso, alta turbidez por materia orgánica suspendida y bajo contenido de oxígeno. Los factores negativos mencionados, dan indicios de la salud del sistema en cuestión, ya que además está relacionado con la baja diversidad de invertebrados y la dominancia de una fauna adaptada a condiciones ambientales que producen estrés, a diferencia de otras especies con intervalos de tolerancia reducidos (Mezquita *et al.*, 1999; Poquet *et al.*, 2008). De tal manera que la variación estacional de las abundancias de *P. smaragdina* fueron afectadas por las condiciones limnológicas, que indicaron que Chalco es un ecosistema con disturbio a causa de la contaminación antropogénica.

Basado en evidencia de este estudio y de la literatura consultada, la dinámica poblacional de *P. smaragdina* en el Lago de Chalco, permitió catalogarla como una especie con una estrategia de respuesta ecológica de tipo r ante variaciones estacionales. Generalmente, este tipo de especies son caracterizadas por ser de tamaño pequeño, tiempo de generación corto, crecimiento poblacional rápido, explotación oportunista de pulsos de recursos y alta habilidad para colonizar (Rossi *et al.*, 2011).

De esta manera es conveniente dar seguimiento en un futuro para la realización de ensayos en el laboratorio con organismos vivos, para determinar de manera puntual cuestiones del ciclo de vida, como la descripción morfológica de cada estadio. Así como la aplicación de análisis moleculares para determinar si existen diferencias entre poblaciones de otros lagos dentro del territorio mexicano y en otras regiones del

mundo como lo es en norte y sur América y en el continente europeo, considerando material biológico de las colecciones de instituciones extranjeras.

En cuestiones paleobiológicas, se requiere de análisis de núcleos de sedimento de la zona de Chalco para corroborar la presencia de *P. smaragdina* y de probablemente otras especies de ostrácodos en el pasado e integrar dicha información con la de estudios actuales. Es así como, al tener información más detallada sobre la biología y dinámica ecológica de estos organismos en periodos de tiempo prolongados, su uso en la paleolimnología generará mejores interpretaciones de rasgos de los ecosistemas lacustres y su pasado ambiental.

10. CONCLUSIONES

-En el estudio de las características limnológicas del Lago de Chalco permitió considerarlo como un cuerpo de agua hipertrófico, alcalino ($\text{pH} > 9$) y dominado por iones sodio y bicarbonatos. Además, al analizar las concentraciones del oxígeno disuelto fue posible reconocer dos épocas, una de baja concentración durante los meses de marzo-agosto de 2015 (0.74-4 mg/L) y una de alta oxigenación de noviembre 2015 a marzo de 2016 (5-23 mg/L).

-Asimismo, se registró por primera vez la presencia de tres especies de ostrácodos en Lago de Chalco: *Candona* sp., *P. unicaudata* y *P. smaragdina*, las abundancias de organismos con partes blandas, caparazones vacíos y valvas desarticuladas indicaron dominancia esta última sobre las otras dos.

-Tras estudiar la estructura poblacional *P. smaragdina* en el Lago de Chalco se reconoció que está conformada por nueve etapas de desarrollo, ocho etapas juveniles, A-8 (primer juvenil) a A-1 (última etapa juvenil antes de convertirse en adultos) y los adultos, todo esto con base en el muestreo de organismos con partes blandas, caparazones vacíos y valvas desarticuladas.

-La presencia de machos y hembras indicó que la población en este lago tiene reproducción sexual. La proporción de hembras y machos fue similar a lo largo del año, 50% por cada sexo. Al examinar la morfología del caparazón, se observaron características que indicaron un ligero dimorfismo sexual por tallas, ya que la hembra fue más larga (602 μm) y alta (331 μm) que los machos (554 μm de largo y 298 μm de alto).

-*Potamocypris smaragdina* del Lago de Chalco es capaz de desarrollarse en un ambiente de aguas hipertróficas, alcalinas, con dominancia de sodio y carbonatos-bicarbonatos, encontrándose altas abundancias en meses con altas concentraciones de oxígeno.

-Asimismo, factores como la conductividad, pH y concentraciones de sulfatos, tuvieron una relación negativa con las abundancias de *P. smaragdina*, sin embargo, es conveniente realizar estudios con organismos de dicha especie, en condiciones de laboratorio y realizar bioensayos, para evaluar su tolerancia ante los factores estresantes reconocidos en este estudio. Finalmente, con esta investigación se obtuvo que la abundancia de la población de *P. smaragdina* del Lago de Chaco es sensible

ante cambios de ciertos factores ambientales, propiciados posiblemente por el estrés natural y antropogénico.

11. LITERATURA CITADA

- Aguilera-Herrera, N. 1989. Tratado de edafología Tomo I. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 222 pp.
- Aguilar-Alberola, J. A. & Mezquita, F. 2008. On the presence of parthenogenetic populations of *Heterocypris bosniaca* Petkowski et al., 2000 (Crustacea: Ostracoda) in temporary rock pools of eastern Iberian Peninsula, with insights into the ecology and life history of the species. *Bulletin de la Société des Naturalistes Luxembourgeois*. 109: 149-158.
- Aguilar-Alberola, J. A. & Mesquita-Joanes, F. 2011. Population dynamics and tolerance to desiccation in a crustacean ostracod adapted to life in small ephemeral water bodies. *Limnologica*. 41: 348-355.
- Alcocer, J. & Bernal-Brooks, F. W. 2010. Limnology en Mexico. *Hydrobiologia*. 644: 15-68.
- Allen, P. E. & Dodson, S. L. 2011. Land use and ostracod community structure. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-011-0711-7
- Altınışalı, S., Altınışalı, S., & Perçin-Paçal, F. 2014. Species composition and distribution of ostracods (Crustacea, Ostracoda) in some lakes and lagoons (Kocaeli and Sakarya, Turkey). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(5): 182-192.
- Altınışalı, S., Perçin-Paçal, F., & Altınışalı, S. 2015. Assessments on diversity, spatiotemporal distribution and ecology of the living ostracod species (Crustacea) in oligo-hypersaline coastal wetland of Bargilya (Milas, Muğla, Turkey). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 3(2): 357-373.
- Ávila-Pérez, H., García-Ibañez, S., & Rosas-Acevedo, J. L. 2015. Análisis de componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables físicoquímicas y biológicas en un ecosistema léntico de Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(3): 43-53.
- Ayala-Pérez, L. A. & Avilés-Alatriste, O. A. 1997. Calidad del agua y concentraciones de nutrientes, 31-41 pp. In: Barreiro-Güemes, M. T., Sánchez-Trejo, R., Aguirre-León, A. & Ayala-Pérez, L. A. (eds.). *Ecología del humedal de San Pedro Tláhuac: un sistema lacustre del Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, D. F.

- Ayala-Pérez, V., Arce, N. & Carmona, R. 2013. Distribución espacio-temporal de aves acuáticas invernantes en la Ciénega de Tláhuac, planicie lacustre de Chalco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 327-337.
- Barreiro-Güemes, M. T. & López-Barreiro, M. T. 1997. Comunidad planctónica, 43-49 pp. In: Barreiro-Güemes, M. T., Sánchez-Trejo, R., Aguirre-León, A. & Ayala-Pérez, L. A. (eds.). *Ecología del humedal de San Pedro Tláhuac: un sistema lacustre del Valle de México*. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, D. F.
- Beltrán-Bernal, T. 1998. *La desecación del lago (ciénega) de Chalco*. Colegio Mexiquense. 29: 1-4.
- Beltrán-Epele, L. & Miserendino, M. L. 2015. Environmental quality and aquatic invertebrate metrics relationships at Patagonian wetlands subjected to livestock grazing pressures. *PLoS One*. 10(10): e0137873.
- Bouvier, C., Didon, E., Niedzielski, H. & Huizar, R. 1993. Hidrología e hidrogeología en la cuenca de Chalco, descripción y perspectivas. *ContactoS*. 10: 19-29.
- Brodersen, K. P. & Quinlan, R. 2006. Midge as palaeoindicators of lake productivity, eutrophication and hypolimnetic oxygen. *Quaternary Science Reviews*. 25, 1995-2012.
- Brown, E. T., Werne, J. P., Lozano-García, S., Caballero, M., Ortega-Guerrero, B., Cabral-Cano, E., Valero-Garcés B. L., Schwalb, A. & Arciniega-Ceballos, A. 2012. Scientific drilling in the basin of Mexico to evaluate climate history, hydrological resources, and seismic and volcanic hazards. *Scientific Drilling*. 14: 72-75.
- Buendía-Flores, M. 2018. Florística y ecología de diatomeas bentónicas del Lago de Chalco. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Caballero, M. 1997. Reconstrucción paleolimnológica del lago de Chalco, México, durante el último máximo glacial-el registro de diatomeas entre 34,000 y 15,000 años A.P. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 14(1): 91-100.
- Caballero, M. & Ortega-Guerrero, B. 1998. Lake levels since about 40,000 years ago at Lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary Research*. 50: 69-79.
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L. & Ortega, B. 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro

de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62(3): 359-377.

-Caballero, M., Rodríguez, A., Vilaclara, G., Ortega, B., Roy, P. & Lozano, S. 2013. Hydrochemistry, ostracods and diatoms in a deep, tropical, crater lake in Western Mexico. *Journal of Limnology*. 73(3): 512-523.

-Carbonel, P., Colin, J. P., Danielopol, D. L., Löffler, H. & Neustrueva, I. 1988. Paleocology of limnic ostracodes: A review of some major topics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 62: 413-461.

-Carvalho, P., Bini, L. M., Thomaz, S. M., Oliveira, L. G., Robertson, B., Tavechio, W. L. G. & Darwisch, A. J. 2001. Comparative limnology of South American floodplain lakes and lagoons. *Acta Scientiarum*. 23(2): 265-273.

-Castillo-Escriba, A., Mestre, A., Monrós, J. S. & Mesquita-Johanes, F. 2013. Population dynamics of an epibiont Ostracoda on invasive red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in a western Mediterranean wetland. *Hydrobiologia*, 714: 217-228.

-Cohen, A. C. & Morin, J. G. 1990. Patterns of reproduction in ostracodes: A review. *Journal of Crustacean Biology*. 10(2): 184-211.

-Cohen, A. C., Peterson, D. E. & Maddocks, R. F. 2007. Ostracoda. 417-446 pp. In: Carlton, J. T. (ed.). *The Light & Smith Manual: Intertidal Invertebrates from Central California to Oregon*. Fourth Edition. University of California Press, Berkeley and Los Angeles.

-Cohuo-Durán, S. 2012. Revisión taxonómica (morfológica y molecular) de los ostrácodos dulceacuícolas del centro-sureste de México. Tesis de grado. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 164 pp.

-Cohuo-Durán, S., Pérez, L., & Karanovic, I. 2014. On *Limnocytherina axalapasco*, a new freshwater ostracod (Podocopida: Limnocytheridae) from Mexican crater lakes. *Revista de Biología Tropical*. 62(1): 15-32.

-Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). 2016. AICA 32 (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves). Consultado en línea: <http://avesmx.conabio.gob.mx/verzona?tipo=aica&id=37> el 07 de marzo de 2016.

- Cooper, C. M. 1993. Biological effects of agriculturally derived Surface water pollutants on aquatic systems-A review. *Journal of Environmental Quality*. 22: 402-408.
- Correa-Metrio, A., Bush, M., Lozano-García, S., & Sosa-Nájera, S. 2013. Millennial-scale temperature change velocity in the continental Northern neotropics. *PLoS ONE*. 8(12): 1-11.
- Coviaga, C., Cusminsky, G., Baccalá, N., & Pérez, P. 2015. Dynamics of ostracod population from shallow lakes of Patagonia: life history insights. *Journal of Natural History*. 49 (17-18):1023-1045.
- Cronin, T. M. 2015. Ostracods and sea level. 249-257 pp. In: Shennan, I., Long, A. J. & Horton, B. P. (Eds.). *Handbook of sea level research*, First Edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- Curry, B. B. 1999. An environmental tolerance index for ostracods as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 148: 51-63.
- Cusminsky, G. C., Pérez, P. A., Schwalb, A. & Whatley, R. 2005. Recent lacustrine ostracods from Patagonia, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*. 37(3): 431-450.
- Chávez-Lara, C. M., Roy, P. D., Caballero, M. M., Carreño, A. L. & Lakshumanan, C. 2012. Lacustrine ostracodes from the Chihuahuan desert of Mexico and inferred late quaternary paleoecological conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 29(2): 422-431.
- Danielopol, D. L. & Casale, L. 1988. A technique for laboratory sub-sampling of non marine fossil Ostracoda. *Journal of Micropaleontology*. 7(1): 31-38.
- Danielopol, D. L., Baltanás, A., Namiotko, T., Geiger, W., Pichler, M., Reina, M. & Roidmayr, G. 2008. Developmental trajectories in geographically separated populations of non-marine ostracods: morphometric applications for palaeoecological studies. *Senckenbergiana lethaea*. 88(1): 183-193.
- De Decker, P. 1983. Notes on the ecology and distribution of non-marine ostracods in Australia. *Hydrobiologia*. 106: 223-234.

De Decker, P. 2002. Ostracod palaeology. 121-134 pp. *In*: Holmes, J. A. & Chivas, A. R. (Eds.). *The Ostracoda applications in quaternary research*. Geophysical Monograph 131. American Geophysical Union, Washington, D. C.

Delorme, L. N. 1970. Freshwater ostracods of Canada, part II. Subfamily Cypridopsinae and Heterocyprindinae, and family Cyclocyprididae. *Canadian Journal of Zoology*. 48: 253-266.

-Downing, J. A. 2014. Limnology and Oceanography: two estranged twins reuniting by global change. *Inland Waters*. 4: 215-232.

-Ezcurra, E. 1992. Crecimiento y colapso en la cuenca de México. *Ciencias*. 25: 13-27.

-Fauna Europaea. 2018. Disponible en: <https://fauna-eu.org/>

-Ferguson, E. Jr. 1944. Studies on the seasonal life history of three species of freshwater Ostracoda. *The American Midland Naturalist*. 32(3): 713-727.

-Flores-Díaz, A. 1965. Estudios preliminares de ostrácodos y sus relaciones edáficas en los ex-lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, México Xochimilco y Chalco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 60 pp.

-Forester, R. M. 1983. Relationship of two lacustrine ostracode species to solute composition and salinity: Implications for paleohydrochemistry. *Geology*. 11: 435-438.

-Forester, R. M. 1986. Determination of the dissolved anion composition of ancient lakes from fossil ostracodes. *Geology*, 14: 796-798.

-Fritz, S. C. 2007. Salinity reconstructions from continental lakes. *In*: Elias, S. A. (Ed.). *Encyclopedia of Quaternary Science: Elsevier*. 1: 514-523

-Furtos, N. C. 1933. The Ostracoda of Ohio. *Ohio Biological Survey*. 5(29): 413-524.

-Ganning, B. 1971. On the ecology of *Heterocypris salinus*, *H. incongruens* and *Cypridopsis aculeata* (Crustacea: Ostracoda) from Baltic brackish-water rockpools. *Marine Biology*. 8:271-279.

-García-Calderón, J. L. & De La Lanza-Espino, G. 2002. Las aguas epicontinentales de México. 5-34 p. *In*: De La Lanza Espino, G. & García-Calderón, J. L. (Compiladores). *Lagos y presas de México*. AGT Editor, S. A. México.

- Griffiths, H. I. & Butlin, R. K. 1995. A timescale for sex versus parthenogenesis: Evidence from subfossil ostracods. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 260(1357): 65-71.
- Hamilton, W. D. 1967. Extraordinary sex ratios. *Science*. 156: 477-488.
- Hernández-Fonseca, M. C. 2015. Dinámica ecológica de la comunidad bentónica profunda de un lago oligotrófico tropical. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 82 pp.
- Hernández, M. C., Escobar, E. & Alcocer, J. 2010. Ensamble de crustáceos bentónicos en un lago salino tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81: 133-140.
- Hernández-Fonseca, M. C., Alcocer-Durand, J., Oseguera-Pérez, L., & Escobar-Briones, E. G. 2013. Dinámica de la biomasa de invertebrados bentónicos en la zona profunda de un lago oligotrófico tropical. 335-342 pp. In: Paz-Pellat, F., Wong-González, J., Bazan, M. & Saynes, V. (Eds). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013*. Programa Mexicano del Carbono, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.
- Holmes, J. A. 2001. Ostracoda. 125-151 pp. In: Smol, J. P., Birks, H. J. B. & Last, W. M. (Eds). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Volume 4: Zoological Indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Hoff, C. C. 1942. *The ostracods of Illinois, their biology and taxonomy*. The University of Illinois Press Urbana. Vol. XIX, No. 1-2.
- Horne, D. J. 1983. Life-cycles of podocopid Ostracoda- a review (with particular reference to marine and brackish-water species). 581-590 pp. In: Maddocks, R. (Ed.), *Applications of Ostracoda. Proceedings of the Eighth International Symposium on Ostracoda*. University of Houston, Geoscience, Houston, Texas.
- Horne, D. J., Merlijin, J., Brendonck, L., & Martens, K. 2011. On *Potamocypris compressa* (Crustacea, Ostracoda) from temporary rock pools in Utah, USA, with notes on the taxonomic harmonisation of North American and European ostracod faunas. *Zootaxa*. 2793: 35-46.
- Ikeya, N. & Ueda, H. 1988. Morphological variations of *Cytheromorpha acupunctata* (Brady) in continuous populations at Hamana-ko bay, Japan. 319-340 pp. In: Hanai, T.,

Ikeya, N. & Ishizaki, K. (Eds.) *Evolutionary Biology of Ostracoda its fundamentals and applications*. Elsevier Kodansha.

-Kaesler, R. L. & Foster, D. W. 1988. Ontogeny of *Bradleya normani* (Brady): Shape analysis of landmarks. 207-218 pp. In: Hanai, T., Ikeya, N. & Ishizaki, K. (Eds.) *Evolutionary Biology of Ostracoda its fundamentals and applications*. Elsevier Kodansha.

-Karanovic, I. 2012. *Recent freshwater ostracods of the world, Crustacea, Ostracoda, Podocopida*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. DOI 10.1007/978-3-642-21810-1

-Kesling, R. V. 1951. *The morphology of ostracod molt stages*. Illinois Biological Monographs: Vol. XXI, Nos. 1-3. 324 pp.

-Kesling, R. V. 1953. A slide rule for the determination of instars in ostracod species. *Contributions From The Museum of Paleontology, University of Michigan*. 11(5): 97-109.

-Keyser, D. & Walter, R. 2004. Calcification in ostracodes. *Revista Española de Micropaleontología*, 36 (1):1-11.

-Külköylüoğlu, O. 2003. Ecology of freshwater Ostracoda (Crustacea) from lakes and reservoirs in Bolu, Turkey. *Journal of Freshwater Ecology*, 18(3): 343-347.

-Külköylüoğlu, O. 2004. On usage of ostracods (Crustacea) as bioindicators species in different aquatic habitats in the Bolu region, Turkey. *Ecological Indicators*. 4: 139-147.

-Külköylüoğlu, O., Dügel, M. & Kılıc, M. 2007. Ecological requirements of Ostracoda (Crustacea) in a heavily polluted shallow lake, Lake Yenicağa (Bolu, Turkey). *Hydrobiologia*. 585: 119-133.

-Külköylüoğlu, O., Yavuzatmaca, M., Tanyeri, M. & Yilmaz, O. 2017. Ostracoda (Crustacea) species composition and environmental correlates in different aquatic habitats of the Zonguldak and Bartın regions (Turkey). *Turkish Journal of Zoology*. 41: 686-695.

-Latifa, G. A. 1987. Effect of temperature on the development of embryonic and postembryonic stages of *Heterocyris incongruens* (Ramdohr, 1808) (Ostracoda). *Crustaceana*. 52(1): 95-100.

- Li, L., Zheng, B., & Liu, L. 2010. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: Definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Science*. 2, 1510-1524.
- Lotter, A. F., Birks, J. B., Hoffmann, W., & Marchetto, A. 1998. Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *Journal of Paleolimnology*. 19: 443-463.
- Lozano-García, M., Ortega-Guerrero, B., Caballero-Miranda, M. & Urrutia-Fucugauchi, J. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake, central Mexico. *Quaternary Research*. 40: 332-342.
- Lozano-García, S., Brown, E. T., Ortega, B., Caballero, M., Werne, J., Fawcett, P. J., Schwalb, A., Valero-Garcés, B. L., Schnurrenberger, D., O'Grady, R., Stockhecke, M., Steinman, B., Cabral-Cano, E., Caballero, C., Sosa-Nájera, S., Soler, A. M., Pérez, L., Noren, A., Myrbo, A., Bücker, M., Wattrus, N., Arciniega, A., Wonik, T., Watt, S., Kumar, D., Acosta, C., Martínez, I., Cossio, R., Ferland, T. & Vergara-Huerta, F. 2017. Perforación profunda en el lago de Chalco: reporte técnico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 69, 2, 299-311.
- Malve, O., Jeppesen, E., Kernan, M., Goldsmith, B., Bennion, H., Huttula, T., Duel, H., Harezlak, V., Penning, E., Moe, J., Liukko, N., Ktamäki, N. & Taskinen, A. 2012. *Synthesis paper on options for lake management to improve ecological status—Resistance to climate change in focus*. WISER Deliverable D5.2-6.
- Martens, K., Schön, I., Meisch, C. & Horne, D. J. 2007. Global diversity of ostracods (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 185-193.
- Mazari, M., & Mackey, D. M. 1993. Potential for groundwater contamination in Mexico City. *Environmental Science and Technology*. 27(5): 794-802.
- Mazari-Hiriart, M., Mazari-Menzer, M. & Ramírez-Sama, C. 2007. La cuenca de México en el siglo XX y su perspectiva a futuro. 77-96 p. In: De la Lanza Espino, G., y Hernández Pulido, S. (Compiladores), *Las aguas interiores de México: Conceptos y casos*. AGT Editor, S. A. México, 695 pp.
- McLaughlin, P. A. 1980. *Comparative morphology of recent Crustacea*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, U.S.A. 175 pp.

- Meays, C. & Nordin, R. 2013. *Ambient water quality guidelines for Sulphate*. Ministry of Environmental Province of British Columbia. 55 pp.
- Medina-Júnior, P. B. & Rietzler, A. C. 2005. Limnological study of a pantanal saline lake. *Brazilian Journal of Biology*. 65(4): 651-659.
- Meisch, C. 1985. Revision of the Recent West European Species of the Genus *Potamocypris*, Part II: Species with long swimming setae on the second antennae. *Travaux Scientifiques du Musée d'Histoire Naturelle de Luxembourg*. 6: 1-95.
- Meisch, C. 2000. *Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin. 522 pp.
- Mezquita, F., Griffiths, H. I., Sanz, S., Soria, J. M. & Piñon, A. 1999. Ecology and distribution of ostracods associated with flowing waters in the Eastern Iberian Peninsula. *Journal of Crustacean Biology*. 19(2): 344-354.
- Mezquita, F., Sanz-Brau, A., & Wansard, G. 2000. Habitat preferences and population dynamics of Ostracoda in a helocrene spring system. *Canadian Journal of Zoology*. 78: 840-847.
- Mezquita, F., Roca, J. R., Reed, J. M., & Wansard, G. 2005. Quantifying species-environment relationships in non-marine Ostracoda for ecological and palaeoecological examples using Iberian data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 225(1-4): 93-117.
- Montiel-Rojas, A. 2004. Gaceta del Gobierno. *Periódico Oficial del Gobierno del Estado de México*. Tomo CLXXVII, (109): 1-5.
- Namiotko, T., & Martins, M. J. F. 2008. Sex ratio of sub-fossil Ostracoda (Crustacea) from deep lake habitats in northern Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 264: 330-337.
- NANODE 2018. North American Non-Marine Ostracode-Database-Project. Disponible en: <http://www.personal.kent.edu>
- Nielsen, D. L., Brock, M. A., Rees, G. N. & Baldwin, D. S. 2003. Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia. *Australian Journal of Botany*. 51: 655-665.

- OECD, *Organization for Economic Cooperation and Development*. 1982. Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control, OECD, Paris, p. 154.
- Oleksyn, J. & Reich, P. B. Pollution, habitat destruction, and biodiversity in Poland. *Conservation Biology*. 8(4): 943-960.
- Ortega-Guerrero, B., Lozano-García, S., Caballero, M., & Herrera-Hernández, A. 2015. Historia de la evolución deposicional del lago de Chalco, México, desde el MIS 3. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 67(2): 185-201.
- Ortiz-Zamora, D. C. & Ortega-Guerrero, M. A. 2007. Origen y evolución de un nuevo lago en la planicie de Chalco: implicaciones de peligro por subsidencia e inundación de áreas urbanas en Valle de Chalco (Estado de México) y Tláhuac (Distrito Federal). *Boletín del Instituto de Geografía*. 64: 26-42.
- Pérez, L., Lorenschat, J., Bugja, R., Brenner, M., Scharf, B. & Schwalb, A. 2010a. Distribution, diversity and ecology of modern freshwater ostracodes (Crustacea), and hydrochemical characteristics of Lago Petén Itzá, Guatemala. *Journal of Limnology*. 69(1): 146-159.
- Pérez, L., Lorenschat, J., Brenner, M., Scharf, B. & Schwalb, A. 2010b. Extant freshwater ostracodes (Crustacea: Ostracoda) from Lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista de Biología Tropical*. 58(3): 871-895.
- Pérez, L., Brenner, M., Islebe, G., & Schwalb, A. 2011. Aquatic ecosystems of the Yucatán Peninsula (Mexico), Belize, and Guatemala. *Hydrobiologia*. 661: 407-433.
- Pérez, L., Lorenschat, J., Massaferrro, J., Pailles, C., Sylvestre, F., Hollwedel, W., Brandorff, G-O., Brenner, M., Islebe, G., Lozano, M.S., Scharf, B., & Schwalb, A. 2013. Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Revista de Biología Tropical*. 61(2): 603-644.
- Pérez, L., Lozano-García, S. & Caballero, M. 2015. Non-marine ostracodes from highland in East-central Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 63(2): 401-425.
- Pereira, J. S., Domeles Schneider, D. I., Falavigna da Rocha, C. E., & Lorenço Pinto, R. 2017. Caparace ontogeny of the bromeliad dwelling ostracod *Elpidium bromeliarum* Müller, 1880 (Crustacea: Ostracoda). *Journal of Natural History*. DOI: 10.1080/00222933.2017.1360529

- Perocaino, G., D'Alessandro, W. & Inguaggiato, S. 2015. The other side of the coin: geochemistry of alkaline lakes in volcanic areas. 219-237 pp. *In: Rouwet, D. et al. (Eds.). Volcanic Lakes, Advances in Volcanology.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pieri, V., Martens, K., Stoch, F. & Rossetti, G. 2009. Distributions and ecology of non-marine ostracods (Crustacea, Ostracoda) from Friuli Venezia Giulia (NE Italy). *Journal of Limnology.* 68(1): 1-15.
- Pieri, V., Vandekerckhove, J. & Goi, D. 2012. Ostracoda (Crustacea) as indicators for surface water quality: a case study from the Ledra River basin (NE Italy). *Hydrobiologia.* 688: 25-35.
- Poquet, J. M., Mezquita, F., Rueda, J. & Miracle, M. R. 2008. Loss of ostracoda biodiversity in Western Mediterranean wetlands. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems.* 18(3): 280-296.
- Ramón-Mercau, J., Laprida, C., Massaferro, J., Rogora, M., Tartari, G., & Maidana, N. I. 2011. Patagonian ostracods as indicators of climate-related hydrological variables: implications for paleoenvironmental reconstructions in Southern South America. *Hydrobiologia.* DOI 10.1007/s10750-012-1192-z
- Rossetti, G., Bartoli, M. & Martens, K. 2004. Limnological characteristics and recent ostracods (Crustacea, Ostracoda) of freshwater wetlands in the Parco Oglio Sud (Northern Italia). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology.* 40(4):329-341.
- Rossi, V., Benassi, G., Belletti, F., & Menozzi, P. 2011. Colonization, population dynamics, predatory behaviour and cannibalism in *Heterocypris incongruens* (Crustacea: Ostracoda). *Journal of Limnology.* 70(1): 102-108.
- Sanders, W. T., Parsons, J. S., & Santley, R. S. 1979. *The basin of Mexico, ecological processes in the evolution of a Civilization.* Academic Press, Inc, New York, San Francisco, London. 561 p.
- Sánchez-Chávez, J., Bravo-Inclán, L., Tomasini-Ortiz, C. & Bernal-Brooks, F. 2011. Calidad del agua del lago de Pátzcuaro. 27-46 pp. *In: Huerto-Delgadillo, R. (Ed.). Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable.* México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Scheihing, R., Labarca, P., Cardenas, L. & Nespolo, R. F. 2011. Viability selection on body size in a non-marine ostracod. *Hydrobiologia*. 671: 193-203.
- Schön, I. & Martens, K. 2016. Ostracod (Ostracoda, Crustacea) genomics-promises and challenges. *Marine Genomics*. 29: 19-25.
- Sigala, I., Caballero, M., Correa-Metrio, A., Lozano-García, S., Vázquez, G., Pérez, L., & Zawisza, E. 2017. Basic limnology of 30 continental waterbodies of the Transmexican volcanic belt across climatic and environmental gradients. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 69(2): 313-370.
- Smith, A. J. 1993. Lacustrine ostracodes as hydrochemical indicators in lakes of the north-central United States. *Journal of Paleolimnology*. 8: 121-134.
- Smith, R. J. 2014. Introduction to the Ostracoda. Cap. 28-29. In: Martin, J. W. *Atlas of crustacean larvae*. JHU Press, 385 pp.
- Smith, R. J. & Martens, K. 2000. The ontogeny of the cypridid ostracod *Eucypris virens* (Jurine, 1820) (Crustacea, Ostracoda). *Hydrobiologia*. 419: 31-63.
- Smith, V. H. .2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. *Environmental Science and Pollution Research*. 10: 126-139.
- Tolosa, R., Vo, T., Heim, N. & Payne, J. 2014. *Ostracod body size-locality in accordance with Cope's and Bergmann's rule*. Intern Research Projects Presented at the 2014 AGU Meeting.
- Torres-Rodríguez, E., Lozano-García, S., Roy, P., Ortega, B., Beramendi-Orosco, L., Correa-Metrio, A. & Caballero, M. 2015. Last glacial droughts and fire regimes in the central Mexican highlands. *Journal of Quaternary Science*. 30(1): 88-99.
- Torres-Saldarriaga, A. & Martínez, J. I. 2010. Ecology of non-marine Ostracoda from La Fe Reservoir (El Retiro, Antioquia) and their potential application in paleoenvironmental studies. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. 34(132): 397-409.
- Tressler, W. L. 1954. Fresh-water Ostracoda from Texas and Mexico. *Journal of The Washington Academy of Sciences*. 44: 138-149.
- Turner II, B. L. 1983. Comparison of agrotechnologies in the Basin of Mexico, Central Maya lowlands: Formative to the classic Maya collapse. 13-48 pp. In: Miller, A. G. (ed.).

Highland-lowland interaction in Mesoamerica: Interdisciplinary approaches. Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington, D. C.

-Van-Donick, K., Schön, I., Martens, K. & Goddeeris, B. 2003. The life cycle of the asexual ostracod *Darwinula stevensoni* (Brady and Robertson, 1870) (Crustacea, Ostracoda) in a temperate pond. *Hydrobiologia*. 500: 331-340.

-Whatley, R. C. 1988. Population structure of ostracods: some general principles for the recognition of palaeoenvironments. 245–256 pp. *In: Ostracoda in the Earth Sciences* (Eds.). De Decker, P., Colin, J. P. & Peypouquet, J. P., Elsevier, Amsterdam.

-Wetzel, R. G. 2001. *Limnology, lake and river ecosystems*. Third Edition, 1006 pp.

-Wojtasik, B. 2008. Life cycle of *Tonnacypris glacialis* (Crustacea: Ostracoda). *Polish Polar Research*. 29(1): 33-44.

-Yamaguchi, T., Honda, R., Matsui, H., & Nishi, H. 2017. Sexual shape dimorphism and selection pressure on males in fossil ostracodes. *Paleobiology*. 43(03): 407–424.

-Yasuhara, M., Tittensor, D. P., Hillebrand, H., & Worm, B. 2017. Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*. 92: 199-215.

-Yilmas, F. & Külköylüoğlu, O. 2006. Tolerance, optimum ranges, and ecological requirements of fresh water Ostracoda (Crustacea) in Lake Aladağ (Bolu, Turkey). *Ecological Research*. 21: 165-173.

-Zelditch, M., Swidersky, D. & Sheets, H. 2012. *Geometric morphometrics for biologists*. 2nd Edition. Academic Press, 488 p.

-Zhang, Y. & Payne, J. 2012. Size-frequency distributions along a latitudinal gradient in middle Permian fusulinoideans. *PLoS One*. 7(6): e38603.