



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Estudios Superiores Iztacala**

**“VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA COMUNIDAD DE MICROCRUSTÁCEOS  
(COPEPODA Y CLADOCERA) EN LA LAGUNA MAYOR, PARQUE  
NACIONAL “LAGUNAS DE ZEMPOALA”, MORELOS.”**

Tesis que para obtener el título de bióloga presenta:

**Lilian Abigail Palomino Alvarez**

**Director de tesis:**

**Dra. Nandini Sarma**

**“Por mi raza hablará el espíritu”**





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.

*“Eso que algunos llaman imposible, son cosas que nunca han visto jamás”*

Más allá de los sueños

## DEDICATORIA

Es un poco difícil poder expresar todos aquellos sentimientos que han surgido al terminar de plasmar una parte de mi vida, mi trayecto, mi esencia y mi reflejo en hojas de papel, pero aun así jamás terminaría de agradecer a todas aquellas personas que significan tanto en mi vida y que sin ellas no hubiera podido llegar hasta donde estoy.

Primero que nada te agradezco a ti mami por ser la persona más importante en mi vida, por demostrarme que la palabra rendirse no existe, por dedicar tu vida a cuidarme y a sacarme adelante sin importar la situación, por enseñarme a luchar y haberme enseñado el significado de amor incondicional, y sobre todo por ser mi ejemplo a seguir, todo este esfuerzo y este logro te pertenecen a ti; tu que estuviste en mis desvelos, enojos, alegrías, tristezas, que me formaste con amor y con dureza cuando así lo requería... TE AMO!.. Gracias por todo lo que me has dado.

A mi hermana Batis, gracias por llenarme de amor cuando lo necesite, peleas enojos y reclamos pero sobre todo por estar siempre a mi lado, y aun siendo tu la pequeña también me has enseñado que nunca hay que rendirse, se que estaremos juntas siempre sin importar las cosas o circunstancias. Te quiero hermanis.

Dios no solo me colmo con una madre maravillosa, si no me mando una segunda madre, que me cuida y estuvo pendiente de mí en todo momento, también eres una parte esencial en mi vida Silvia, es un buen momento para agradecerte todo lo que me has dado desde que nací, gracias por cuidarme tanto, ser como eres pero sobre todo por el amor que me has dado. Te quiero muchísimo... A mi abuelita, tu que eres una de las mujeres más fuertes que conozco, con tu ejemplo, sabiduría, tus consejos con el solo hecho de escucharme y que guiarme en todo momento, gracias por ser mi abuelita y una mujer respetable. Te quiero... A mi tío Víctor, por estar en todo momento conmigo, apoyarme, escucharme, por ser como un padre para mí, por enseñarme con tu ejemplo como se hacen las cosas correctamente y a seguir luchando para salir adelante. Te quiero tío!!! Rosario y los niños, gracias por todos aquellos momentos que se quedaron grabados en mi corazón.

Y aunque la distancia nos separe un poco, tía Paula, gracias por tus consejos y ayuda incondicional, Paco!! mi padrino de graduación, gracias por tus elocuencias, tu manera de ser y tu apoyo; Liz, Lili y Omar por ser mis primos, amigos y confidentes, y a mis sobrinos a los que quiero tanto.

A mis 2 tías: tía Cata, gracias por los cuidados y por hacerme sentir tu amor, y mi tía Gloria por todo el amor y dulzura que me has dado a lo largo de mi vida. A mi abuelos paternos por haberme querido desde el momento en el que nací, los llevé siempre en mi corazón y se que me cuidan. A mis tías America, Alicia y Guillermina por quererme siempre y estar cuando lo necesito.

Podría agradecerle a cada persona de mi familia y aun así no acabaría de expresar todo aquello que me han dado y enseñado. Pienso en que soy demasiado afortunada y doy gracias a Dios por haber nacido en una familia que me ha dado practicamente todo, que me han regalado una parte de ellos y que hoy en día soy un poco de todos. Gracias por hacerme quien soy...

Obviamente no iba a olvidar a mi mejores amigos que han estado en todo momento conmigo, en mis locuras, en salidas a campo extremas, en mis tristezas, enojos. Yumara: mi mejor amiga que ha sido incondicional, que desde el primer día de escuela estuvimos juntas, por ser mi confidente, por encontrar en ti el apoyo que necesité. Charly: por ser la persona que estuvo y se que estará para mi. Netro: gracias por cuidar de mi, por decirme mis verdades y lo que necesitaba escuchar, y por tus chistes :/ jaja . Quetza: amiga! Eres de las mejores personas que conozco y también mi mejor amiga, por toda la diversión risas y platicas!!... Panda!! Por las risas y diversiones. No saben cuánto los quiero, se han llevada cada uno una parte de mi corazón. Gracias por estar conmigo siempre.

Jaime!... por no solo representar una parte importante en mi vida, si no por ser mi amigo, el apoyo, el paño de lágrimas, por poderte decir mis miedos, enojos, corajes, alegrías. Por todas aquellas sonrisas que dibujas en mí, por hacerme ver las cosas de una manera distinta y enseñarme a nunca caer y enfrentar las cosas. Por aquellos momentos maravillosos a tu lado. Por haberme dado tu amor, por ser tú y por llenarme plenamente.

Alex, no sabes cuánto agradezco tener a una persona que cuide tanto de mí. Gracias por ser mi apoyo incondicional, por tu forma de ser y quererme a tu muy peculiar y despistada forma. Gracias por ser esencial en mi vida.

Gracias Raul por todo aquello que me enseñaste y por ser una de las personas que me demostró todo lo que valgo, por haber sido mi apoyo, mi soporte. En la distancia te mando mi cariño.

A todas aquellas personas que me ayudaron a crecer en distintas formas, Jacky, Prof. Tello y Prof. Jose Antonio, por sus sabios consejos y regaños. Juan, Juanote y todas aquellos que han dejado una huella en mi. Gracias por todo.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por mi formación académica.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala sede de mi formación como bióloga y la realización de mi tesis en la Unidad de Morfofisiología y Función

A mi asesora Dra. Nandini Sarma, gracias Dra, por darme la oportunidad de desarrollarme como científica, por toda la paciencia, por el aliento y consejo, los empujones y regaños que necesite para superarme, por su valioso tiempo y por el apoyo incondicional que me brinda. Pero sobre todo por haber creído en mí y ser uno de mis ejemplos de superación. Sin duda es una de las mejores personas que me han guiado, y mi mejor elección como asesora. Gracias

Al Dr. S. S. S. Sarma por darme la oportunidad de poder unirme a su equipo de trabajo, guiarme en mis conocimientos y brindarme lo necesario para el desarrollo en mi trabajo.

A mis asesores Dr. Rocha, Dr. Gama, Dr. Ramírez por su valioso tiempo y por ayudarme a completar mi desarrollo académico.

A mis compañeros del Laboratorio de Zoología Acuática, por brindarme siempre el apoyo y la ayuda que necesite Aurora, Diego, Rocío, Cristian, Jorge, Gerardo, Alma Ligia, Alfredo... Gracias por todo!!...

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>10</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>15</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
<b>Fase de Campo</b> .....	<b>20</b>
Zooplankton .....	20
Variables Ambientales.....	21
<b>Trabajo de Laboratorio</b> .....	<b>21</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
<b>Caracterización físico-química del periodo de estudio</b> .....	<b>23</b>
Oxígeno Disuelto .....	24
pH.....	24
Temperatura .....	25
Dureza y Conductividad .....	25
Nutrimentos .....	27
<b>Análisis de la comunidad de microcrustáceos</b> .....	<b>29</b>
Riqueza específica .....	29
Dominancia .....	31
Densidad poblacional (Ausencia-presencia) .....	34
Diversidad Shannon-Wiener .....	39
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>41</b>
<b>Variables Físicoquímicas</b> .....	<b>41</b>
<b>Comunidad de microcrustáceos</b> .....	<b>44</b>
Cladóceros.....	45
Copépodos .....	46
<b>Relación variación ambiental - comunidades de microcrustáceos</b> .....	<b>52</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>54</b>

## INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua continentales son muy importantes como fuente de recursos naturales y representan una riqueza tanto biológica como de recursos considerables para diversas actividades (Díaz et al., 2005). México tiene una superficie territorial de 1, 964,375 km<sup>2</sup>, de los cuales 1, 959,248 km<sup>2</sup> son continentales (CONABIO, 1998); así mismo, cuenta con un número importante de sistemas acuáticos continentales, tanto lénticos como lóticos identificados en 731 cuencas hidrológicas (CONAGUA, 2012). Son aprovechados para la producción de energía, producción de alimentos y en la generación de conocimiento básico, destacando los estudios enfocados hacia el conocimiento de la composición biótica y variación abiótica, que en conjunto constituyen una herramienta necesaria dentro de la ecología, así como de la conservación y el manejo de los recursos hídricos (García et al., 2010).

En cuanto a los ambientes de carácter léntico (lagos, lagunas y presas) se estima que en el país existen cerca de 70 lagos, cuyas extensiones varían entre 1,000 y 10,000 hectáreas, las cuales cubren en conjunto un área de más de 370 000 hectáreas (De la Lanza et al., 1995). La mayor parte de las formaciones naturales son de origen endorreico o están ligadas con los litorales. Las cuencas endorreicas son originadas por la obstrucción del drenaje superficial debido a fenómenos volcánicos o tectónicos o como consecuencia de la aridez (CONABIO, 1998).

Ahora bien, los lagos de alta montaña tienen características ambientales particulares tales como la intensidad y distribución de la radiación, recepción de cantidades considerables de material externo aportado por el viento a la superficie, las características del agua de la naturaleza de las rocas, entre otras; que hacen de estos hábitats únicos (Margalef, 1983). En consecuencia, los lagos se consideran ecosistemas complejos, dinámicos y altamente productivos, proveen de hábitat, alimento, refugio y áreas de crianza y reproducción a un elevado número de especies de peces, aves, anfibios, reptiles, mamíferos e invertebrados y juegan un papel ecológico importante (Arriaga et al., 2000).

Uno de los principales conceptos de la limnología moderna se refiere a la determinación de la influencia de la comunidad de los productores primarios en el funcionamiento de las redes en la cadena trófica y en el estado trófico de un cuerpo de agua. Es por ello, que los estudios de la



limnología en México se han realizado predominantemente en cuerpos de agua grandes y/o naturales (Alcocer y Bernal-Brooks, 2010). Para entender la función de los organismos acuáticos y su interacción entre ellos mismos y con su medio, es necesario entender todos los factores que inciden en el ambiente acuático en el que se desarrollan (Quiroz et al., 2008).

Las comunidades acuáticas presentan dos grupos funcionales importantes: el fitoplancton, organismos que se encuentran en la columna de agua de los sistemas acuáticos considerados como productores primarios generadores de materia orgánica y de energía (Hutchinson, 1993; Wetzel, 2001), y en relación a este el zooplancton. El papel del zooplancton en las tramas tróficas se destaca por su carácter de vía de transferencia de materia y energía desde los microproductores primarios y las fuentes de detritus-bacteria hacia los niveles de consumidores primarios (Aguilar, 2010). Muchos estudios se han realizado sobre la variación temporal en la comunidad de zooplancton (Jotaro, 1989). Las variaciones en la abundancia de las poblaciones zooplanctónicas son fundamentalmente temporales y espaciales, las temporales presentan patrones típicos que incluyen fluctuaciones irregulares alrededor de un nivel más o menos constante, incrementos y decrementos durante largos periodos, oscilaciones cíclicas e incrementos explosivos de poblaciones que habitualmente existían con niveles bajos y que cuya relación es directa en controles biológicos (Lampert y Sommer, 1997).

Ecológicamente los rotíferos, cladóceros y copépodos, organismos que frecuentemente dominan las comunidades planctónicas, tienen un importante papel en la cadena trófica de los cuerpos de agua, ya que son el eslabón entre los productores primarios y los consumidores secundarios, como las larvas de peces o de algunos insectos (Wallace et al., 2006). Los copépodos se encuentran en casi todos los hábitats de agua dulce de los lagos continentales hasta las lagunas subterráneas; estas aguas son abundantes y son un componente principal de la mayoría de la comunidad planctónica bentónica y de las comunidades de agua subterráneas (Geoff y Defaye, 2008). Por otra parte los cladóceros son un importante grupo de organismos en los ecosistemas acuáticos, juegan un papel importante en la transferencia de energía desde los productores primarios hasta los consumidores secundarios y terciarios en la red alimentaria del medio acuático (Dodson y Frey, 2001; Dumont y Negrea, 2002). Estos crustáceos con características morfológicas y biológicas distintivas, exhiben claras manifestaciones de radiación adaptativa. Se distribuyen desde los lagos tectónicos hasta pequeños charcos efímeros, algunos son estrictamente planctónicos mientras que otros forman parte de la comunidad litoral-bentónica (Carruyo-Noguera et al., 2006).

Las interacciones intraespecíficas también pueden jugar un papel importante limitando el crecimiento de las poblaciones zooplanctónicas (Declerck et al., 2003). De las interacciones de los organismos radican principalmente la competencia y depredación ya que los requerimientos elevados en medios con condiciones limitadas de recursos provocan perturbaciones sobre las especies de tallas pequeñas (Aguilar, 2010).

El tipo de reproducción depende de factores como la desecación, temperatura o cantidad de alimento (Conde-Porcuna et al., 2004). El desarrollo de los cladóceros es directo, se lleva a cabo dentro del huevo, no se presentan etapas larvales libre-nadadoras y los neonatos son muy similares a los adultos. Tienen dos tipos de reproducción: la sexual y la asexual (partenogénesis). Aunque la proporción en términos de reproducción de los copépodos sea menor que la de los cladóceros, la tasa de renovación de éstos es más lenta y representan un orden de crustáceos que ha tenido un éxito extraordinario en la evolución.

El cuerpo de los copépodos presenta varias regiones que se caracterizan por sus apéndices, y los individuos de los 2 sexos difieren por numerosos caracteres y son aproximadamente del mismo tamaño. (Margalef, 1983). Existen 3 órdenes que se distinguen entre sí por sus características morfológicas tales como el número de segmentos y forma de las anténulas. Ocupan diferentes posiciones a nivel trófico en la cadena alimentaria, ya sea detritívora, herbívora o carnívora, por lo que inciden de manera diferente en la organización de los ecosistemas acuáticos (Dussart y Defaye, 1995).

La investigación en ecología de comunidades pretende cuantificar la importancia relativa de los factores bióticos y abióticos sobre la distribución y abundancia de especies dentro un entorno particular. En los lagos, las condiciones abióticas son relativamente predecibles (Serrano y Fahd, 2005); ya que los lagos, mantienen una biodiversidad muy elevada, y tienden a crear un ecosistema propio, y así, muchos organismos aprovechan las propiedades físicas para tener condiciones adecuadas para su sobrevivencia (Margalef, 1983). El estudio de la fauna zooplanctónica tiene importancia en los aspectos de ecología, dado que forma parte de la red trófica, un aspecto fundamental en la dinámica del ecosistema.

## ANTECEDENTES

Quiroz et al. (1998) durante el periodo de otoño-invierno, analizaron la abundancia y distribución de los grupos componentes de la fauna bentónica en el Lago de Zempoala en 5 estaciones de muestreo de la zona litoral y 3 en el fondo; reportaron a los copépodos y cladóceros como principales componentes del bentos del lago con un 8.7% y 34.9% de grupos presentes a lo largo del estudio y mencionaron que en la zona profunda la presencia dominante es la de los cladóceros, además de afirmar que la abundancia bentónica está relacionada con la estacionalidad. Respecto a los parámetros fisicoquímicos (OD, CO<sub>2</sub>, pH y Temperatura) indican ligeras relaciones con el desarrollo de las comunidades.

García et al, (2010) efectuaron un estudio sobre la densidad y la distribución de los componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos del Lago de Zempoala y registran que dentro del periodo de estudio (otoño-invierno) 1998-1999, la abundancia de organismos fue mayor que en épocas de primavera-verano debido a la recuperación de la comunidad después del periodo de lluvias y registran a los cladóceros con un total de 43 org/m<sup>2</sup> (primavera-verano), 3,661 org m<sup>-2</sup> (otoño-invierno) y copépodos con un total de 116 org/m<sup>2</sup> (primavera-verano), 806 org m<sup>-2</sup> (otoño-invierno).

Parte de las investigaciones del lugar de estudio cuenta con las aportaciones de Elizalde (2000) quien caracterizó y analizó algunos parámetros físicos y químicos del agua y sedimento del mismo lago. Mondragón (2007) analizó la variación horizontal y vertical de la temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y bióxido de carbono, durante ciclos de 24 hrs en el sistema. En la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de 1997 a 1998 del agua de la Laguna de Zempoala, Díaz et al., en 2005 afirmaron que el oxígeno disuelto presenta valores que indican la descomposición en zonas de litoral relacionado a la concentración de materia orgánica y consideran un proceso continuo de eutrofización, los valores mínimos de temperatura se registraron en diciembre con 6°C y máximas en junio con 24°C.; el pH con intervalos entre 6 y 9.3 y la alcalinidad con tendencia a la dureza total de entre 24 mg L<sup>-1</sup> y 90 mg L<sup>-1</sup>.

Aunque son escasos los estudios en este sistema acerca de la comunidad de los microcrustáceos, Suárez-Morales et al. (2000) realizaron estudios taxonómicos de la especie *L. cuauhtemoci* en varios estados del centro de México, incluyendo el Parque Nacional Lagunas de

Zempoala, y además de mencionar marcadas diferencias entre machos y hembras, concluyen que el análisis taxonómico sugiere una amplia área de distribución de la especie en el norte de México y los Estados Unidos.

Por otra parte en México se han realizado estudios de las dinámicas estacionales en lagos de origen volcánico. Vázquez et al., en 2005 analizaron los cambios en la comunidad de fitoplancton de los Lagos Cráter de los Tuxtlas y su relación con la calidad del agua. En su estudio reportan un aumento en la diversidad de especies marcada por un incremento en la abundancia de diatomeas y clorofitas, caracterizada por una baja transparencia y alta conductancia específica, y concluyen que los cambios físicos asociados con la estratificación, la circulación, y la estacionalidad tropical determinan la dinámica de la sucesión de la comunidad fitoplanctónica.

De índole cuantitativo, los estudios sobre las variaciones estacionales del zooplancton, se han realizado en diversos cuerpos de agua; como en la presa de Valle de Bravo donde Ramírez et al, (2002) recalcan que dentro del grupo de crustáceos, *Bosmina longirostris* se presentó en números con densidades de hasta 105 ind. L<sup>-1</sup>. El intervalo de valores de oxígeno disuelto varió de 6 a 8 mg L<sup>-1</sup>, presentándose la más baja durante el invierno y la más alta en verano. Del mismo modo el pH de la masa de agua indica una condición alcalina, y por último afirma que los copépodos calanoides se presentaron de forma rara, el estadio de nauplios fueron dominantes durante los meses de invierno (arriba de 670 ind L<sup>-1</sup>). Jiménez-Contreras (2009) realizó evaluaciones de los cambios en la comunidad zooplanctónica en el mismo sitio y afirma que los copépodos dominaron la biomasa del zooplancton la mayor parte del periodo de estudio, representando en promedio el 59% del total de la biomasa, seguido por los cladóceros (39%) y finalmente los rotíferos (9%).

Con respecto a las variaciones ambientales, Aguilar (2010) en Presa Isidro Fabela, reportó que la variable ambiental que influyó más en las especies fue la temperatura, que mostró la mayor densidad y riqueza de especies en los cambios de la misma. Nandini et al., (2008); realizó estudios mensuales durante un año de las variaciones de diversidad y densidad del zooplancton en el mismo sitio y recalco que las diferencias en la abundancia de zooplancton y la composición eran mínimas entre cada sitio, lo que apoya la teoría de las perturbaciones antropogénicas. También concluyó que se presentó como taxón dominante el cladócero: *Bosmina longirostris*.

A nivel mundial existen numerosos estudios en lagos importantes, como son los de Gophen et al, (1990) quienes analizaron cambios en la comunidad zooplanctónica en el Lago de Kinneret (Israel) de 1969 a 1985. Concluyeron que el número de cladóceros totales se mantuvieron a lo

largo del estudio, se presentaron disminuciones en las densidades de las hembras de los copépodos, al igual que en los nauplios. Se atribuyeron estos cambios como resultado de un aumento en la presión de la depredación producida por peces.

De los estudios específicos que se han realizado en diferentes partes del mundo para cada taxa (Copepoda y Cladocera), destacan las aportaciones de Byron (2001), quien afirmó en su estudio de distribución de copépodos calanoideos en los Lagos de Wisconsin que son los factores ecológicos los que determinan la selección de hábitat en diversas especies estrechamente relacionadas, como es el caso de la competencia. Por su parte, los cladóceros no son cosmopolitas en su distribución, si no que se limitan a las regiones más pequeñas de sus requerimientos ecológicos específicos para el tipo de hábitat (Frey, 1987).

## JUSTIFICACIÓN

La mayoría de los lagos mexicanos muestran un avanzado estado de desecación, con reducciones tanto en volumen como en superficie. Algunos de los lagos más grandes de México ya han desaparecido, dejando enormes valles como remanente (Alcoer y Bernal-Brooks, 2010) o incluso sufren deterioros constantes en su morfología y composición. Es por ello que los estudios ecológicos que evalúen el estado actual de los lagos de México son de suma importancia, ya que nos dan un panorama acerca de su estado actual y nos proveen de información predictiva para la preservación de los mismos. Sin embargo, aunque es escasa la información de lagos de origen volcánico de México como lo es El Lago de Zempoala entre otros; dichos lagos, contienen particularidades específicas que hacen de estos ambientes únicos, es ahí donde radica su principal importancia como objeto de estudio.

Por otra parte el estudio de la fauna zooplanctónica es importante desde el punto de vista de los sistemas acuáticos continentales de México, dado que forma parte de la red trófica, un aspecto fundamental en la dinámica del ecosistema. Los estudios de variación estacional de la comunidad de micro crustáceos en diferentes ecosistemas acuáticos tanto marinos como de agua dulce, muestran un panorama de la situación actual en la que se encuentran los estudios demográficos de las poblaciones complementan necesariamente el análisis de la dinámica del zooplancton y la descripción de las fluctuaciones en el tiempo; por lo que es fundamental realizar estudios en zonas con un gran potencial biótico o en el aprovechamiento a futuro, ya sea para conservación y/o utilización de los recursos naturales.

Se seleccionó este sistema acuático debido a que se encuentra en una reserva ecológica con poca alteración antropogénica y su gran potencialidad de aprovechamiento del recurso además de considerar los escasos e incompletos estudios con respecto a los taxa y con la finalidad de aportar conocimientos básicos sobre su comportamiento y composición biológica.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar los cambios en la composición de la comunidad de micro crustáceos (copepoda y cladocera) durante un año en la Laguna Mayor, Parque Nacional “Lagunas de Zempoala”, Morelos.

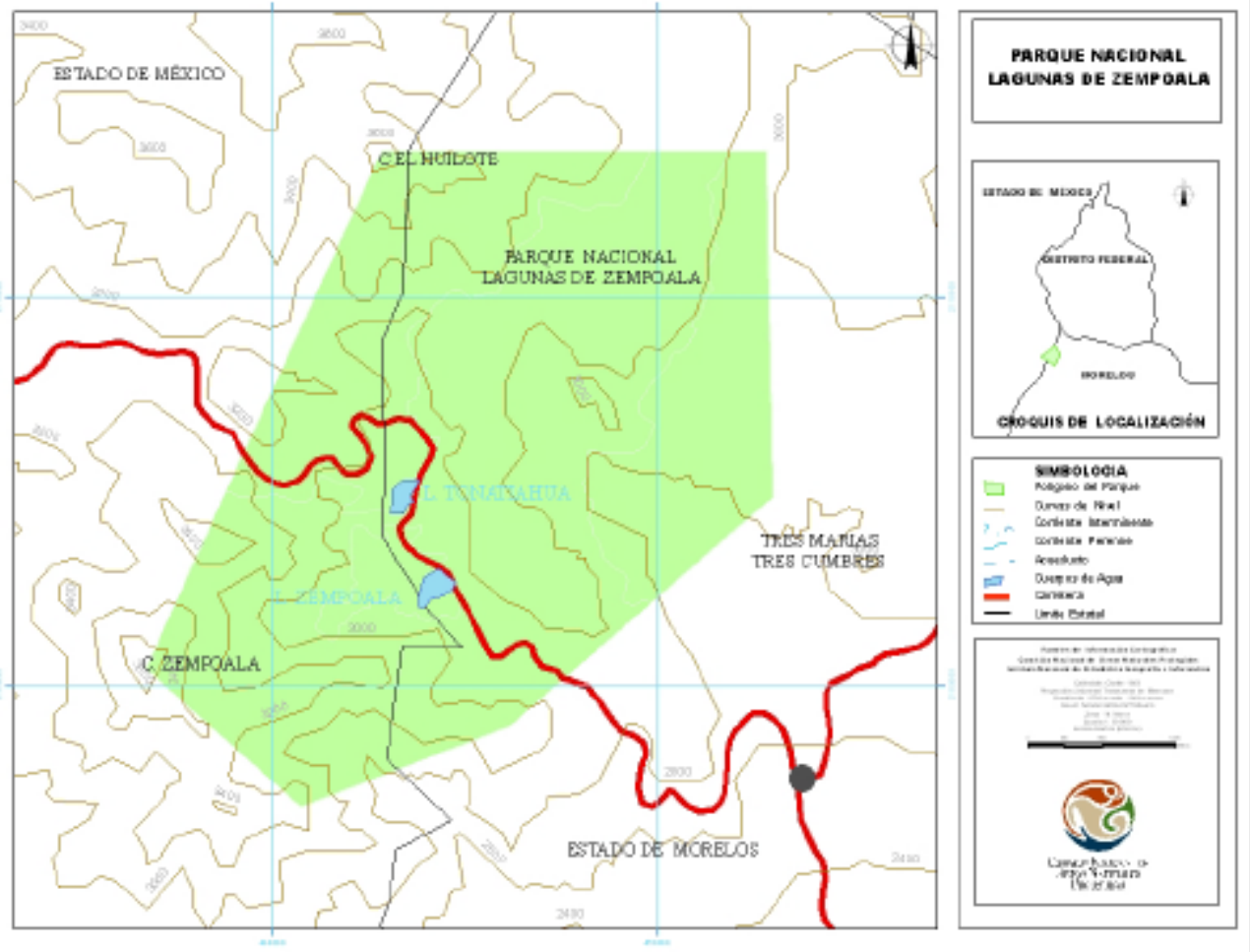
### Particulares

- Determinar la composición de la comunidad zooplanctónica (Cladóceros y Copéodos) presentes en el lago.
- Cuantificar las variaciones de abundancia de la poblaciones y diversidad mensual en los diferentes puntos de muestreo durante el periodo de estudio
- Estudiar la dinámica temporal mediante especies dominantes
- Evaluar la relación de algunas variables fisicoquímicas del cuerpo de agua con las especies

## ÁREA DE ESTUDIO

Los lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala pertenecen a la Altiplanicie Mexicana en la Meseta Central o de Anáhuac, a la Provincia del eje Neovolcánico dentro de la Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac (Arredondo y Aguilar, 1987) Forman parte del Corredor Biológico Chichinautzin (COBIO), cuya delimitación de la zona de influencia se hizo con base en la identificación de microcuencas (CONANP, 2000). El Área Natural Protegida comprende una superficie de 4,790 ha.(Fig. 1). La vía principal de comunicación del Parque la constituye la carretera federal Cuernavaca-Toluca la cual la hace accesible para los usuarios en cualquier época del año.





**Fig. 1** Mapa de ubicación geográfica del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, CONANP 2000.

La Laguna Mayor del Parque Nacional Lagunas de Zempoala (Fig. 2), se localiza a 65 km al sur de la ciudad de México en los municipios de Huitzilac, Cuernavaca y Ocuilán en los estados de Morelos y México respectivamente. Se encuentra entre los  $19^{\circ}06'00''$  de L.N. y  $99^{\circ}16'00''$  de L.O. a altitudes comprendidas entre los 2,400 y 3,680 m.s.n.m. (Cerro Zempoala). Su posición geográfica es muy importante ya que está enclavado en 3 cuencas hidrográficas: la de México, que lo limita al noreste con la sierra del Ajusco y la de la Cruces; la del río Balsas al sur, a partir de los cerros de Cuautépetl, Zempoala, y la Leona y del Río Lerma al oeste, que los separa por la Sierra de Ocuilán, ubicándose en la región hidrológica 18 (Balsas), dentro de la cuenca del río Amacuzacen la subcuenca del río Apatlaco (Ramírez-Pulido, 1969 ; Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995).



**Fig. 2 Laguna Mayor del Parque Nacional "Lagunas de Zempoala". Imagen tomada <http://www.mexicodesconocido.com.mx/parques-nacionales-5a.html>.**

- **Geología y geomorfología**

El relieve es de tipo endógeno acumulativo de coladas lávicas y domos basálticos, deíticos y andesíticos, está representado por derrames de lava recientes que conservan su aspecto original. Estos derrames se ubican alrededor de centros eruptivos, cubriendo materiales preexistentes de diversa naturaleza geológica. Algunas de las principales formaciones son la *Andesita Zempoala* a la que pertenecen los volcanes y coladas lávicas que se ubican en los alrededores de los lagos de Zempoala, que yace sobre la formación Tepoztlán desde el Plioceno y la *Formación Cuernavaca*, localizada al suroeste del área, está constituida desde el Plioceno por depósitos clásticos continentales poco consolidados, transportados y depositados por agua en la Andesita Zempoala (MIA, 2008)

- **Hidrología**

De los siete lagos que hoy en día se reconocen en el Parque, 3 se encuentran completamente secos, y los otros cuatro presentan un régimen de fluctuaciones del nivel del agua muy acusado desde fines de noviembre hasta mayo, ya que la intensa evaporación e infiltración de sus aguas hace disminuir considerablemente su nivel en las épocas de sequía.

La Laguna de Zempoala es la mayor de todas, es una cuenca lacustre con condiciones hidrológicas estáticas, y escasa circulación de la masa de agua, totalmente encerrado por tierras (Tricart, 1985); de tipo endorreica, con drenaje de tipo torrencial que solo lleva agua en la temporada de lluvias. Es alimentada permanentemente por el arroyo Las Trancas, originado del manantial que desciende por el suroeste de los cerros Las Trancas y Campanario (SPP, 1979). Su superficie va de 10.564 ha en el estiaje a 12.34 ha en la época de lluvias; con 401.73 a 508 m de largo máximo en dirección NNE-SSW, con un ancho máximo de 403.58 m, ancho promedio de 207.9 m y presenta agua durante todo el año.

- **Climatología**

Según la clasificación de Köppen modificado por García (1981) y aplicado por Taboada (1981) el tipo de clima que predomina en el Parque es C(w2'')(w)big, que se refiere a templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con una temperatura media anual entre 12 y 18, presenta canícula, con un porcentaje de lluvia invernal menor de cinco, verano fresco y largo, la variación de la temperatura es menor a 5°C, es decir isotermal y con marcha de temperatura tipo ganges. El mes más frío es enero, con una temperatura mínima promedio de 1.6°C, temperatura que aumenta paulatinamente hasta llegar a su máximo durante los meses de abril y mayo (22°C), disminuyendo luego con las lluvias en julio. El régimen de precipitación es de lluvias en verano, con un promedio de 1,550.6 mm anuales, éstas comienzan generalmente a mediados de mayo y terminan la primera quincena de octubre; durante éste periodo los vientos alisios del hemisferio norte pasan por el Golfo de México depositando después en el Parque Nacional, toda su humedad en forma de abundante precipitación. En los meses de julio y agosto la lluvia disminuye, fenómeno conocido como canícula.

- **Flora**

En los alrededores de la Laguna se observa la presencia de cuatro tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de oyamel, bosque de encino y bosque pino-encino, con elementos florísticos de afinidad Neártica típicos del lugar, (*Pinus*, *Arbutus*, *Quercus*, *Arctostaphylos*, *Castilleja* y *Penstemon*) de acuerdo con Monroy y Taboada (1990). En cuanto a la vegetación asociada al cuerpo de agua existen 67 especies reconocidas de las cuales 40 son consideradas como acuáticas y 27 subacuáticas. Las hidrófitas enraizadas (*Hydrilla verticillata*) emergentes representan la forma de vida más sobresaliente de la flora, y sobre todo representa un refugio para las comunidades planctónicas de rotíferos y cladóceros.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Fase de Campo

Se realizaron muestreos mensuales durante un año (julio 2011 a junio 2012).

### Zooplancton

Para la recolección de organismos se establecieron 5 estaciones litorales de muestreo (Fig. 3) y posteriormente se realizaron descripciones físicas; se filtraron 80 L superficiales por estación con una malla de 50  $\mu\text{m}$  y se concentraron en recipientes de plástico fijándose con formaldehído al 4%.

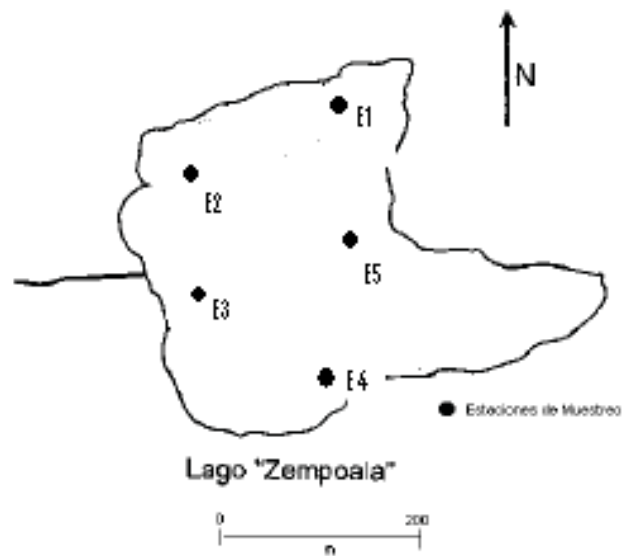


Fig. 3 Estaciones de muestreo preestablecidas durante el período de estudio.

## **Variables Ambientales**

Los parámetros fisicoquímicos que se caracterizaron en campo:

- Temperatura superficial del agua
- pH mediante una sonda multi-parámetro (YSI Mod. 6600)
- Conductividad con equipo de campo modelo 118 marca Thermo Orion
- Oxígeno Disuelto (YSI 55 Mod. 55-12 FT)

En cuanto al análisis de nutrimentos se tomaron muestras mensuales del cuerpo de agua (250 ml) de cada una de las estaciones, se refrigeraron en una hielera y se privaron de luz.

## **Trabajo de Laboratorio**

Se analizaron las muestras en el Laboratorio de Zoología Acuática de la Unidad de Morfofisiología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, para la determinación de:

- **Nutrimentos**
  - Nitratos y Fosfatos con el equipo de YSI Choice 9000 series.
- **Dureza**
  - De acuerdo a la técnica sugerida por el Standard Methods (APHA, 1992)
- **Muestras de organismos:**
  - Determinación taxonómica: se aislaron a los organismos para la determinación por especie, empleando un microscopio estereoscópico Nikon SMZ645 50 X y mediante el uso de claves especializadas para cladóceros, hasta género (Korovochinsky y Smirnov, 1998) y copépodos hasta especie (Fernando, 2002).

## Análisis estadísticos

- Densidad poblacional: Se llevaron a cabo los conteos de alícuotas de 5 ml, agitando la muestra hasta su homogenización e inmediatamente se tomó su contenido. En total de cada una de las muestras se realizaron 3 repeticiones para disminuir el error. Para la cuantificación de los estadios en copépodos se consideraron dos categorías: larvas nauplios en cualquiera de los 6 estadios y copepoditos igualmente en los 6 estadios. Los datos obtenidos se transformaron a ind. L<sup>-1</sup>.

- Diversidad: se analizó mediante el índice de diversidad mediante Shannon-

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i)$$

Wiener (S-W) (Krebs, 1985) , donde; pi= proporción de la especie i.

- Dominancia: a partir de las variaciones en la abundancia y la frecuencia de las especies a lo largo de estudio se realizaron análisis del muestreo anual y por estación que permitió conocer las diferencias en la dominancia de las especies, así como aquellas que son constantes, las que tienen un comportamiento temporal y las raras.

## RESULTADOS

### Caracterización físico-química del periodo de estudio

#### Observaciones físicas

##### Estación 1

Punto de encuentro de una laguna secundaria que por lo general en épocas de estiaje, esta estación alimenta a una laguna temporal, durante el periodo de lluvias se observaron a simple vista organismos grandes como peces o crustáceos. Por lo general esta zona era poco profunda.

##### Estación 2

Existió vegetación acuática temporal y esta cercana a un extractor (agua entubada) de uso para los pobladores. El acceso a esta zona se dificultaba en épocas de lluvias debido a que el agua rebasa el acceso.

##### Estación 3

Presentó gran actividad turística del área (lanchas principalmente); esta estación es adjunta al río que alimenta a la laguna. Por lo que se podría afirmar que es una zona altamente perturbada.

##### Estación 4

Presentó vegetación acuática, en algunas veces sumergida en épocas de lluvias y con constantes blooms de bacterias o microalgas.

##### Estación 5

Estación más cercana al centro de la Laguna y con uso turístico de pesca.



## Oxígeno Disuelto

La concentración de oxígeno disuelto a lo largo del estudio varió entre  $5.6 \text{ mg L}^{-1}$  y  $7.8 \text{ mg L}^{-1}$ , con un promedio general de  $6.8 \text{ mg L}^{-1}$ . El valor mínimo se presentó en octubre y la tendencia general muestra periodos de incrementos y decrementos en periodos de 3 a 4 meses conjuntamente. El nivel más bajo de OD del estudio (estación 5) se presentó en la temporada de invierno (octubre, mientras que el nivel mas alto (estación 2) en enero.

El comportamiento general del sistema por estación de muestreo mostró una tendencia similar entre las estaciones 1, 2 y 5, donde los cambios en las concentraciones disminuyen en septiembre y se elevan a partir de diciembre para nuevamente observar que la concentración descienda en los meses próximos. En lo que respecta a la estación 3 y 4; ambas estaciones muestran una baja en la concentración en agosto y el ascenso de una unidad al mes próximo y posteriormente disminuir; sin embargo, a partir de octubre se muestran ascensos no tan marcados como en las demás estaciones (Fig. 4 C1)

## pH

La variación en la concentración de pH indica un estado neutro en la mayoría de los meses con un promedio de 7.2, exceptuando el primer mes de estudio (julio) que alcanzó el valor máximo de pH y en abril el valor mínimo (6). El comportamiento por estación fue similar y homogéneo y en abril, las 5 estaciones mostraron una tendencia acídica. (6).

El comportamiento de este parámetro en las primeras 4 estaciones muestra una tendencia a reducir las unidades después de junio (valor máximo), y mantenerse en valores de 7 (sin grandes variaciones) hasta el término del estudio. La variación en el pH de la estación 5 muestra variaciones más marcadas en marzo y abril. En la misma estación, a partir de octubre hay un incremento constante hasta febrero, y posteriormente ocurre el declive a sus valores mínimos (Fig. 4 C2)

## Temperatura

Las variaciones en la temperatura del sistema no rebasaron los 20 °C (mayo). Mientras en enero se mostró el nivel mínimo: 11.1°C. La tendencia del sistema muestra que a partir de enero la temperatura superficial de agua incrementa hasta marzo, y a partir de ese mes comienza a descender paulatinamente hasta enero.

Las tendencias en temperaturas fueron similares entre cada estación, a excepción de la estación 3 que mostró marcadas variaciones en cuanto a los grados (variaciones de hasta 3 grados de temperatura por mes). Sin embargo, al igual que en las demás estaciones el nivel mínimo se presentó en época de invierno (diciembre) y ascensos en los grados hasta su nivel máximo en primavera (mayo) (Fig 4 C3)

## Dureza y Conductividad

La variación en la dureza ostentó un valor medio de 24.7 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> y la conductividad general varió entre los 9 y 138 μs cm<sup>-1</sup> por mes, con una media anual de 25 μs cm<sup>-1</sup> (Tabla 1).

Los patrones de dureza del agua en la estación 1 muestra un promedio de 25.4 mg de CaCO<sub>3</sub> aproximadamente en la estación con tendencia a disminuir a partir de junio, ya que alcanza el punto mínimo en enero, y posteriormente se muestra un aumento en los mg de CaCO<sub>3</sub>, mientras que la conductividad alcanzó un promedio general de 60 μs cm<sup>-1</sup> y se presenta una disminución en los meses de abril a octubre.

El comportamiento que se presenta en la estación 2 en cuanto a dureza es decreciente desde el primer mes de muestreo y aumenta ligeramente a partir de octubre; sin embargo, disminuye las concentración en noviembre hasta al valor mínimo en enero (8 mg de CaCO<sub>3</sub>), la media

alcanzó los 27 mg de CaCO<sub>3</sub>. Las variaciones en las conductividades se presentaron de forma oscilatoria a partir de junio con una disminución seguida de un aumento.

En la estación 3 la dureza varía en los meses sin ninguna tendencia clara, más que en los meses de septiembre a noviembre con concentraciones casi constantes del sistema. La conductividad muestra valores que decrecen a partir de julio hasta agosto donde se eleva la conductividad.

La dureza en la estación 4 presenta una tendencia de disminución a partir de julio hasta octubre en el que se incrementa ligeramente y nuevamente hasta enero (nivel mínimo: 8 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>) y en la estación 5 muestra tendencias proporcionales al decremento a medida del periodo de estudio.

## Nutrientes

La concentración de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en el lago de Zempoala osciló entre los valores indetectables hasta  $2 \mu\text{g L}^{-1}$  en los meses de febrero y enero respectivamente; con un promedio anual de  $0.3 \mu\text{g L}^{-1}$ . Mientras que la variación general de los fosfatos se mantuvo entre 1 y  $14 \mu\text{g L}^{-1}$  en mayo en cantidades mínimas y en diciembre en las máximas (Tabla 1).

**Tabla 1 Variaciones de parámetros fisicoquímicos a lo largo del periodo de estudio**

Variable	MIN	MAX	Prom
Conductividad $\mu\text{s cm}^{-1}$	9	138	58
Dureza $\text{mg L}^{-1}$ de $\text{CaCO}_3$	8	45.4	24.7
Nitratos $\mu\text{g L}^{-1}$	~0	1.9	0.28
Fosfatos $\mu\text{g L}^{-1}$	1	14	6.4

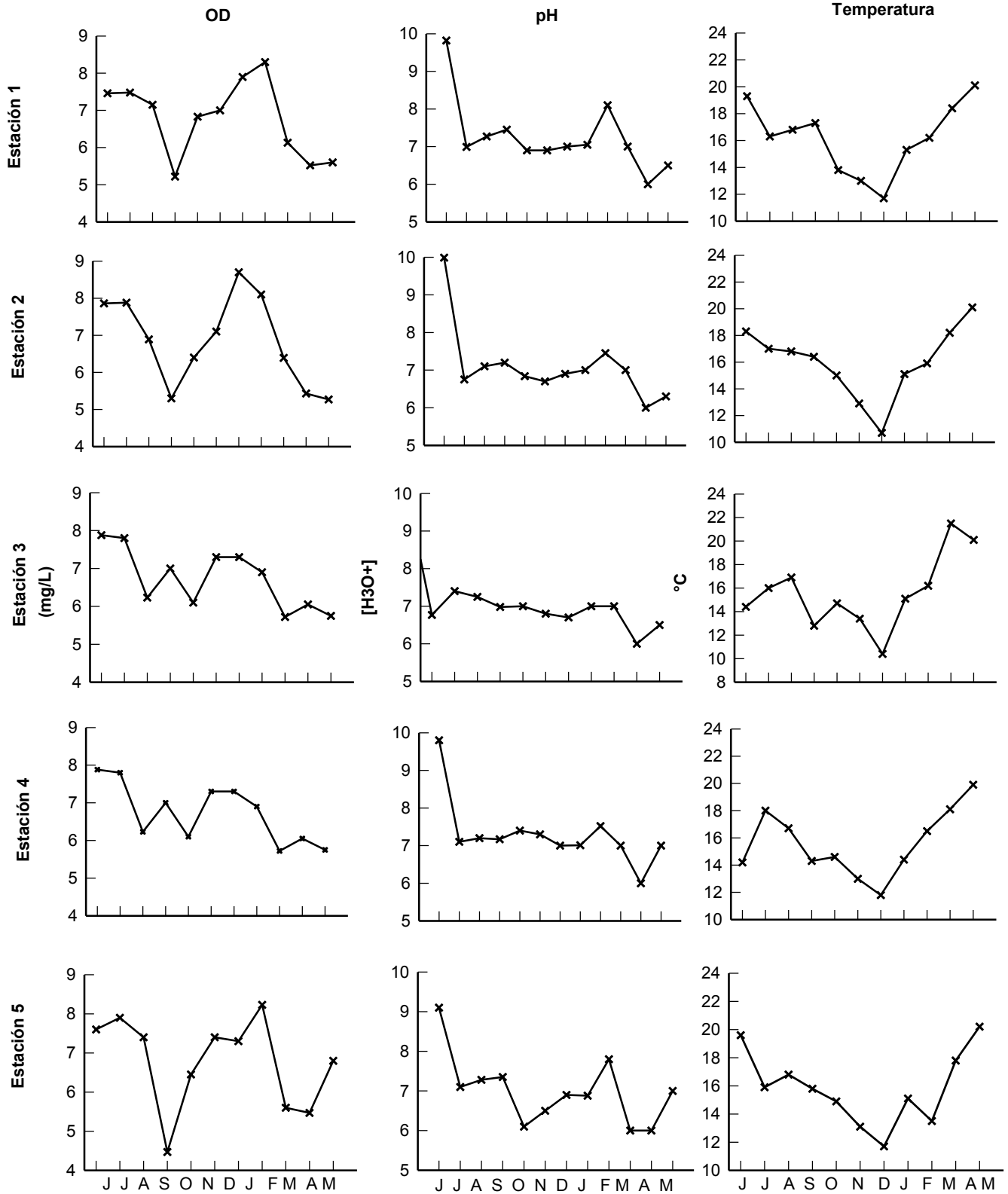


Fig. 4. Variación por estación en variables físico-químicas (C1: Oxígeno disuelto en mgL<sup>-1</sup>; C2: pH y C3: Temperatura: grados Celsius, durante en el período de estudio

## Análisis de la comunidad de microcrustáceos

### Riqueza específica

Los microcrustáceos determinados han sido previamente reportados en México. Se presentaron 3 especies de Cladóceros del orden Anomopoda: *Daphnia* sp., *Bosmina* sp. y *Alona* sp. La comunidad de copépodos reconocidos está compuesta por 2 órdenes: Calanoida (*Leptodiptomus cuauhtemoci*) y Cyclopoida (*Macrocyclops albidus* y *Paracyclops fimbriatus*). Los estadios (nauplios y copepoditos) no fueron designados a un orden de copépodos.

**Tabla 2 Listado taxonómico de microcrustáceos durante el periodo de estudio de la Laguna Mayor, Zempoala, Morelos. Clasificación tomada de Gutiérrez et al. 2008.**

Superclase Crustácea Lamarck, 1801

Clase Branchipoda Latreille, 1817

Superorden Cladocera Milne-Edwards, 1840

Orden Anomopoda Sars, 1865

Familia Daphniidae Straus, 1820

*Daphnia*

Familia Bosminidae Baird, 1845

*Bosmina*

Familia Chydoridae Dybowski y Grochowski, 1894

*Alona*

Subclase Copepoda Milne-Edwards, 1840

Infraclase Necopepoda Huys y Boxshall, 1991

Superorden Gymnoplea Giesbrecht, 1882

Orden Calanoida Sars, 1903

Familia Diaptomidae Sars, 1903

Subfamilia Diaptominae Kiefer, 1932

*Leptodiaptomus cuauhtemoci* (Osorio-Tafall, 1941)

Superorden Podoplea Giesbrecht, 1882

Orden Cyclopoida Burmeister, 1834

Familia Cyclopoidae Dana, 1846

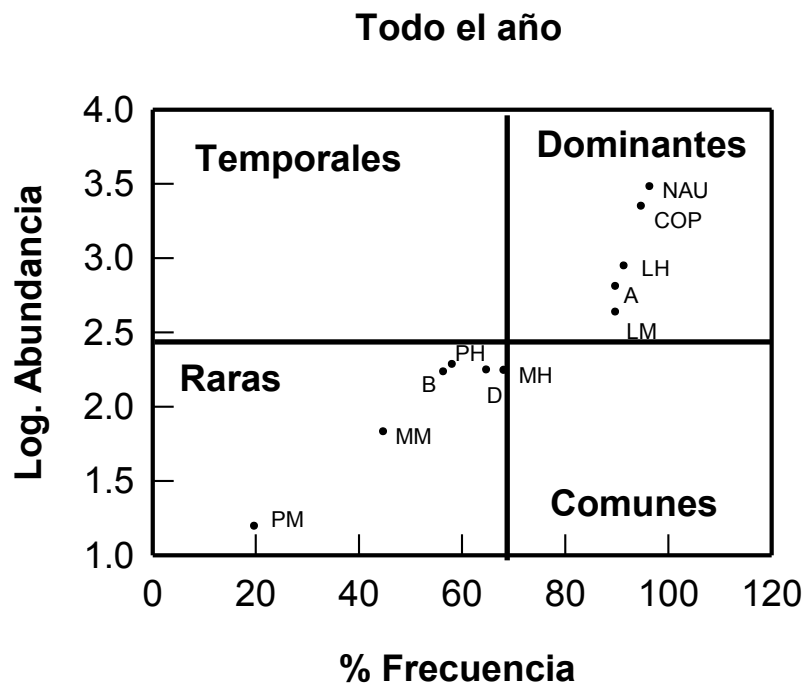
Subfamilia Eucyclopinae Kiefer, 1927

*Macrocyclops albidus* (Jurine, 1820)

*Paracyclops fimbriatus* (Fischer, 1853)

## Dominancia

Se consideró las variaciones en las abundancias y en la frecuencia a lo largo estudio. Se obtuvo un total de 5 especies dominantes (Los 2 estadios de copepodos, *L. cuauhtemoci* en ambos sexos y *Alona* sp. dentro de los cladóceros). Ninguna especie fue temporal o común y tanto *P. fimbriatus* y *M. albidus* en ambos sexos como *Bosmina* y *Daphnia* son consideradas como especies raras a lo largo del estudio (Fig. 5)



**Fig. 5** Dominancia de las especies de Microcrustáceos durante un año de estudio de junio 2011 a mayo 2012 Dominante: NAU (Nauplios), COP (Copépodos), LH (*L. cuauhtemoci. hembra*), A (*Alona* sp.). Comunes: LM (*L. cuauhtemoci* macho), MH (*Macrocyclus a. hembra*), D (*Daphnia* sp.), PH (*Paracyclops f. hembra*), B (*Bosmina* sp.) y MM (*Macrocyclus a. macho*). Rara: PM (*Paracyclops f. macho*).



## Dominancia por estación

Nauplios, copepoditos, *L. cuauhtemoci* y *Alona* sp. fueron más dominantes en todas las estaciones.

Estación 1: presente el mismo comportamiento en cuanto a la dominancia de las especies. *P. fimbriatus* (hembra) es una especie temporal en esta zona. El resto de las especies son raras y no se presenta ninguna especie común (Fig. 6 E1).

Estación 2: *M. albidus* (hembra) especie común. *P. fimbriatus* (hembra) especie temporal. Las demás especies son raras (PM, MM, B y D) (Fig. 6 E2)

Estación 3: *Daphnia* como especie temporal, las demás especies como raras a excepción las dominantes antes mencionadas (Fig. 6 E3)

Estación 4: *Daphnia*, *Bosmina* y *M. abidus* (hembra) son especies comunes (Fig. 6 E4)

Estación 5: el comportamiento de esta zona es diferente, a pesar de que posee las mismas especies dominantes, el resto de las especies son comunes a excepción de *P. albidus* (macho y hembra) como una especie rara (Fig. 6 E5)

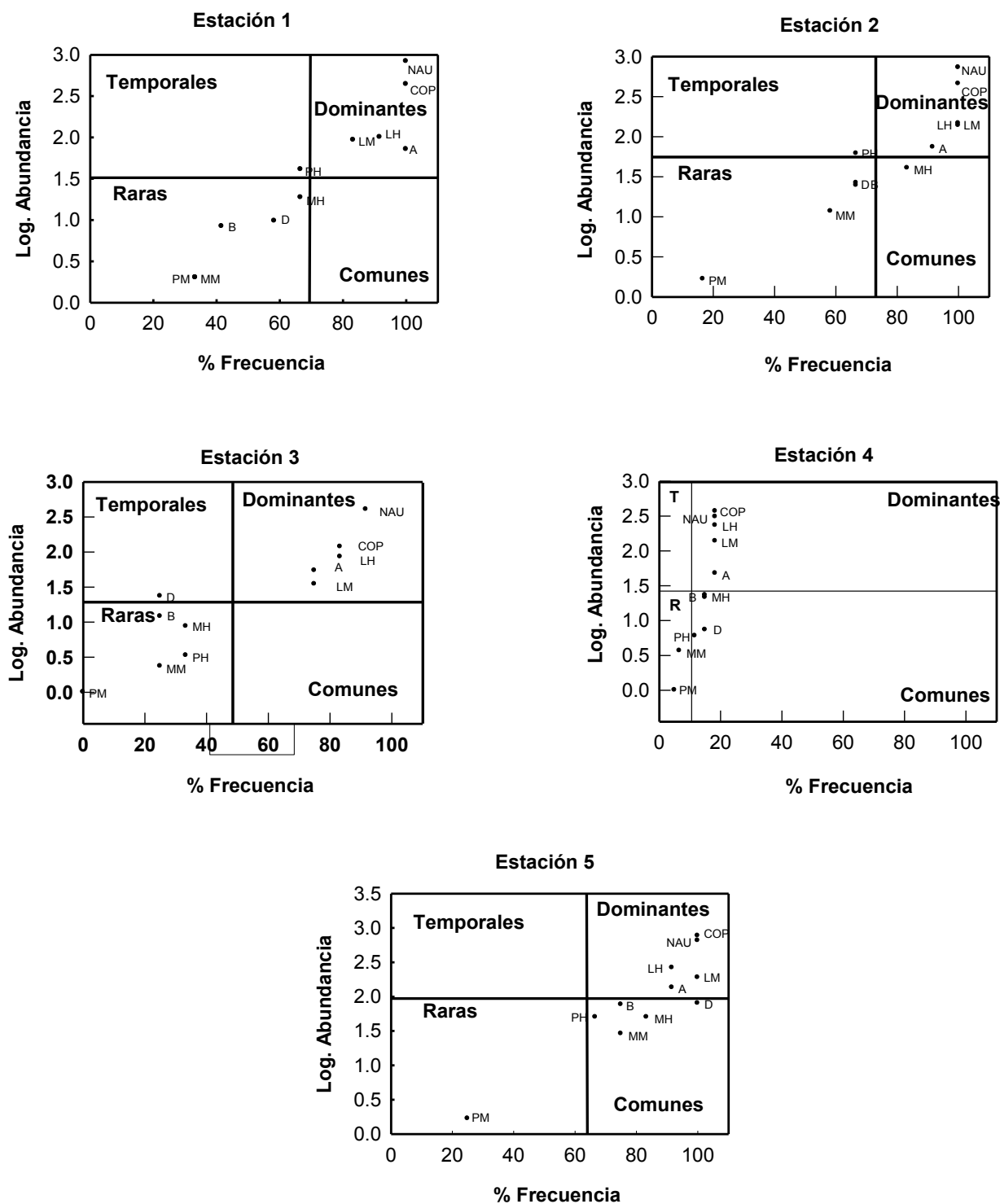


Fig. 6 Dominancia de las especies de Microcrustáceos durante un año de estudio de junio 2011 a mayo 2012 por estación Dominante: NAU (Nauplios), COP (Copépodos), LH (*Leptodiptomus cuauhtemoci* hembra), A (*Alona* sp.). Comunes: LM (*L. cuauhtemoci* macho), MH (*Macrocyclus albidus* hembra), D (*Daphnia* sp. ), PH (*Paracyclus fimbriatus* hembra), B (*Bosmina* sp.) y MM (*Macrocyclus albidus* macho). Rara: PM (*Paracyclus fimbriatus* macho)

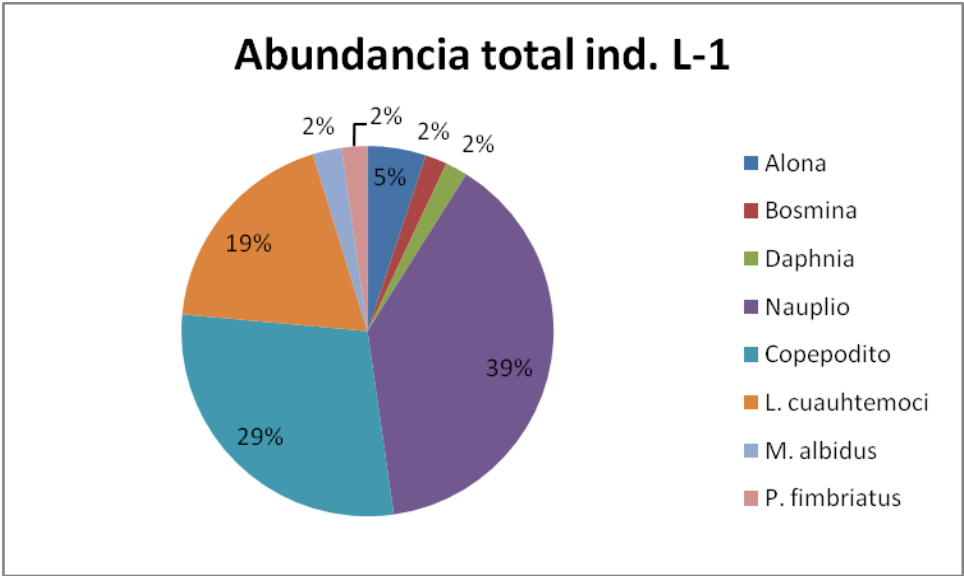
## Densidad poblacional (Ausencia-presencia)

De manera general, *Alona* sp. alcanzó la mayor presencia tanto en espacio (estaciones) como en tiempo (meses). Los estadios de copépodos fueron constantes a lo largo del año; *L. cuauhtemoci* obtuvo mayor presencia tanto en machos como en hembras y *P. fimbriatus* con menor presencia en el estudio. La presencia de hembras de las 3 especies fue mayor que la de los machos. La estación 3 presenta la mayor ausencia de las especies tanto en cladóceros, como en estadios y copépodos (Fig. 7)

A lo largo de junio las 3 especies de cladóceros estuvieron presentes en todas las estaciones. *Alona* sp. se presentó la mayor parte del tiempo y la estación 3 obtuvo una mayor ausencia de organismos, *Bosmina* sp. y *Daphnia* sp. en periodos de 2-4 meses continuos mostraron ausencia en esta estación en especial (Fig. 8). Los estadios de copépodos estuvieron en todo el muestreo (Fig. 9) Los machos de *P. fimbriatus* estuvieron ausentes en la mayoría del periodo de estudios (julio, agosto, septiembre, diciembre y febrero) y en su totalidad en la estación 3 (Fig. 10 C3).

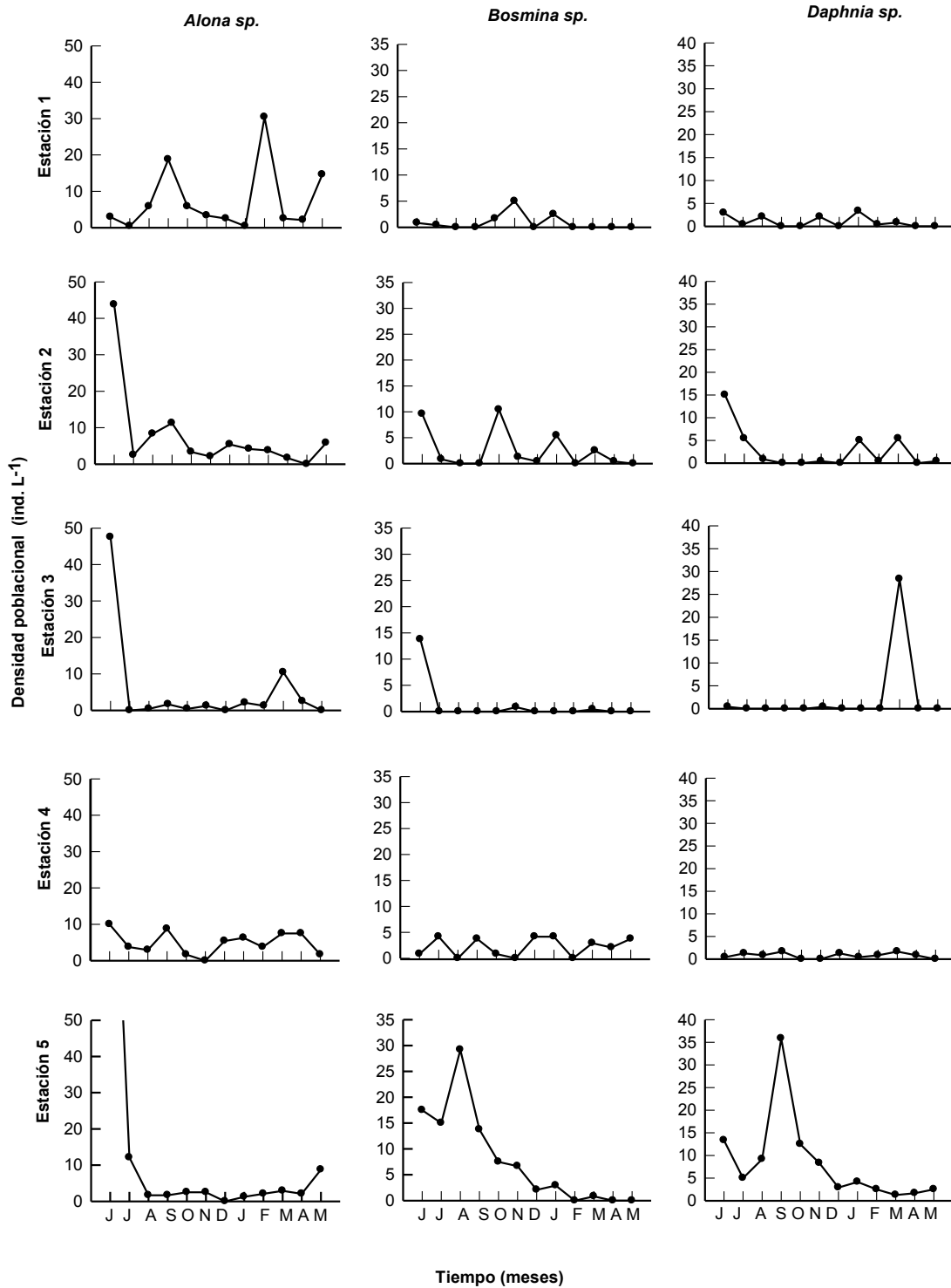
En las densidades poblacionales que se presentaron en cladóceros: se produjo un gran número de hasta 131 ind. L<sup>-1</sup> de *Alona* sp., durante junio en la estación 5. *Bosmina* sp. obtuvo la menor densidad por especie del muestreo con 29 ind. L<sup>-1</sup>, *Daphnia* sp. no produce variaciones tan altas como en las demás especies. Cabe resaltar que en las estaciones 2,3 y 5 se evidencian los niveles máximos en el primer mes de estudio. Las variaciones se mantuvieron bajas en los meses posteriores (estaciones 2, 4 y 5), mientras en la estación 1 y 3 hay más ascensos en las densidades (Fig. 8). Las densidades de estadios no tienen mayores diferencias entre sí (Fig. 9). La estación 5 presentó su punto máximo con 421 ind L<sup>-1</sup> nuevamente en junio en cuanto a copepoditos. La estación 3 y 4 no presentaron grandes variaciones en las densidades mientras que en la 1 y 2 presentaron más de 2 puntos máximos en los cambios de densidades por mes. Existen diferencias marcadas de las densidades entre los copépodos adultos tanto calanoides como ciclopoideos (Fig. 10). Los patrones generales de comportamiento entre sexos destacan los niveles máximos de densidades en las hembras: en *L. cuauhtemoci* muestran el nivel máximo de densidad en mayo en la estación 5 (hasta 152 ind. L<sup>-1</sup>) e incrementa los niveles en la estación 4 y nuevamente 5 en el último mes de estudio. Al contrario de las hembras de *M. albidus* de la estación 5, su nivel máximo es en el primer mes. (Fig. 10 a). Los machos ciclopoideos, sus densidades son casi nulas o no se presentaron individuos en los meses de estudio (Fig. 10). Los machos de *M. albidus* se mantienen en densidades nulas en algunos meses, y sus incrementos no rebasan las densidades de las hembras (Fig. 10 b )

Por último *Paracyclops fimbriatus* prácticamente es la especie que permaneció con los niveles casi nulos en la mayoría del muestreo especialmente el género macho. El nivel máximo de hembras se presentó en Julio (estación 2) con variaciones perceptibles en las estaciones 1, 2 y 5 del mismo género (Fig. 10 c).



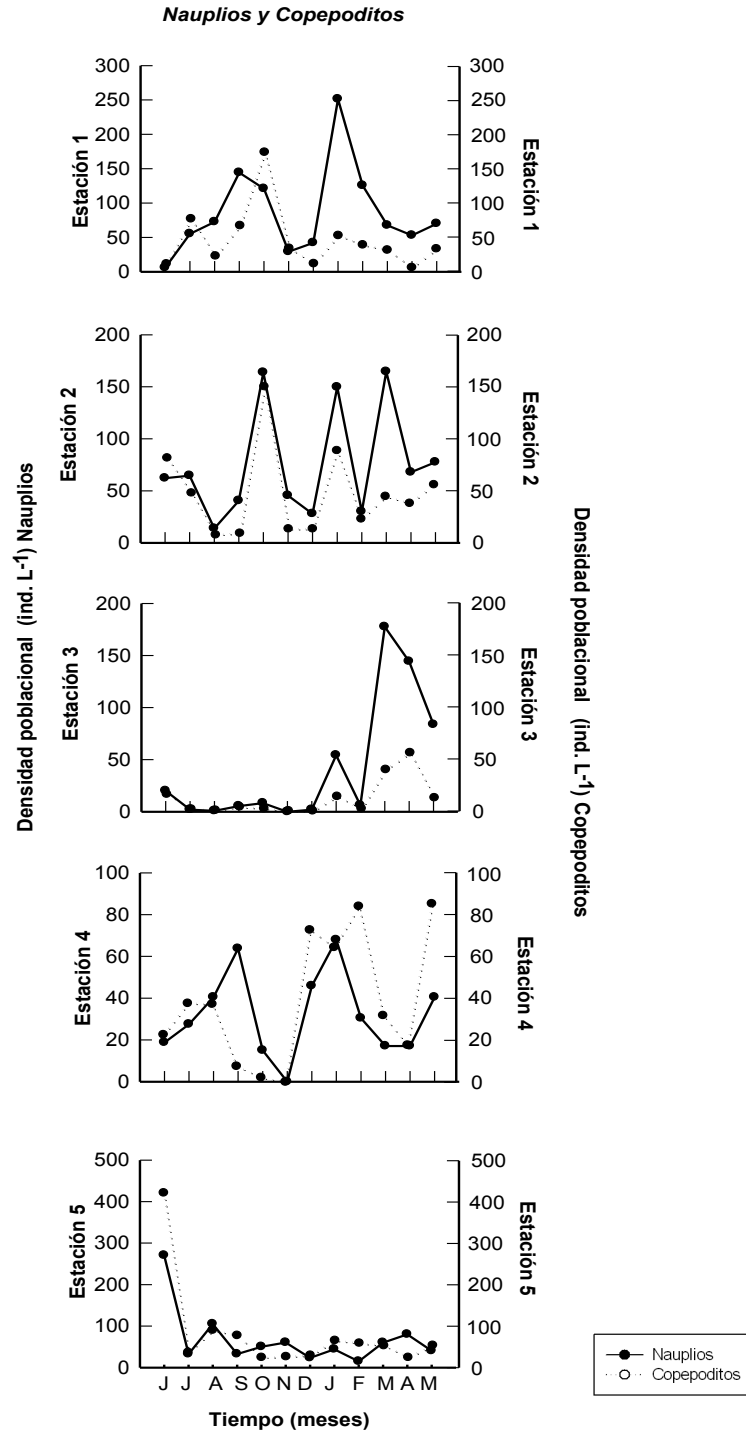
**Fig. 7** Variaciones en la abundancia total entre especies (ind. L<sup>-1</sup>) del periodo de estudio

## DENSIDAD POBLACIONAL CLADOCEROS



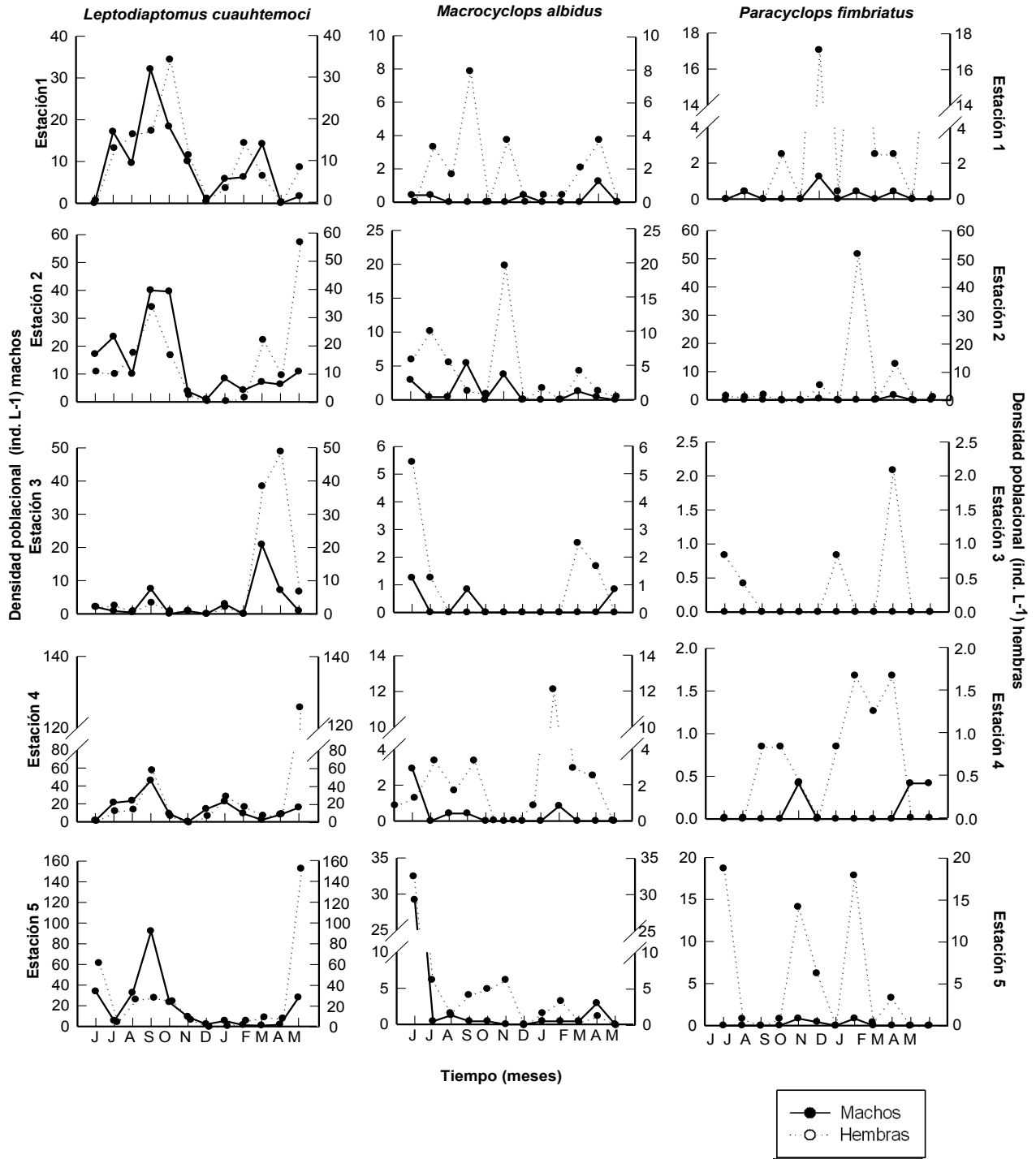
**Fig. 8** Variaciones en la densidad poblacional de cladóceros por estación durante el periodo de estudio (junio 2011 a mayo 2012)

## DENSIDAD POBLACIONAL ESTADIOS



**Fig. 9** Variaciones en la densidad poblacional de estadios por estación durante el periodo de estudio (junio 2011 a mayo 2012). Las escalas del borde izquierdo muestran las densidades de nauplios mientras que del lado derecho las escalas de copepoditos

## DENSIDAD POBLACIONAL COPEPODOS

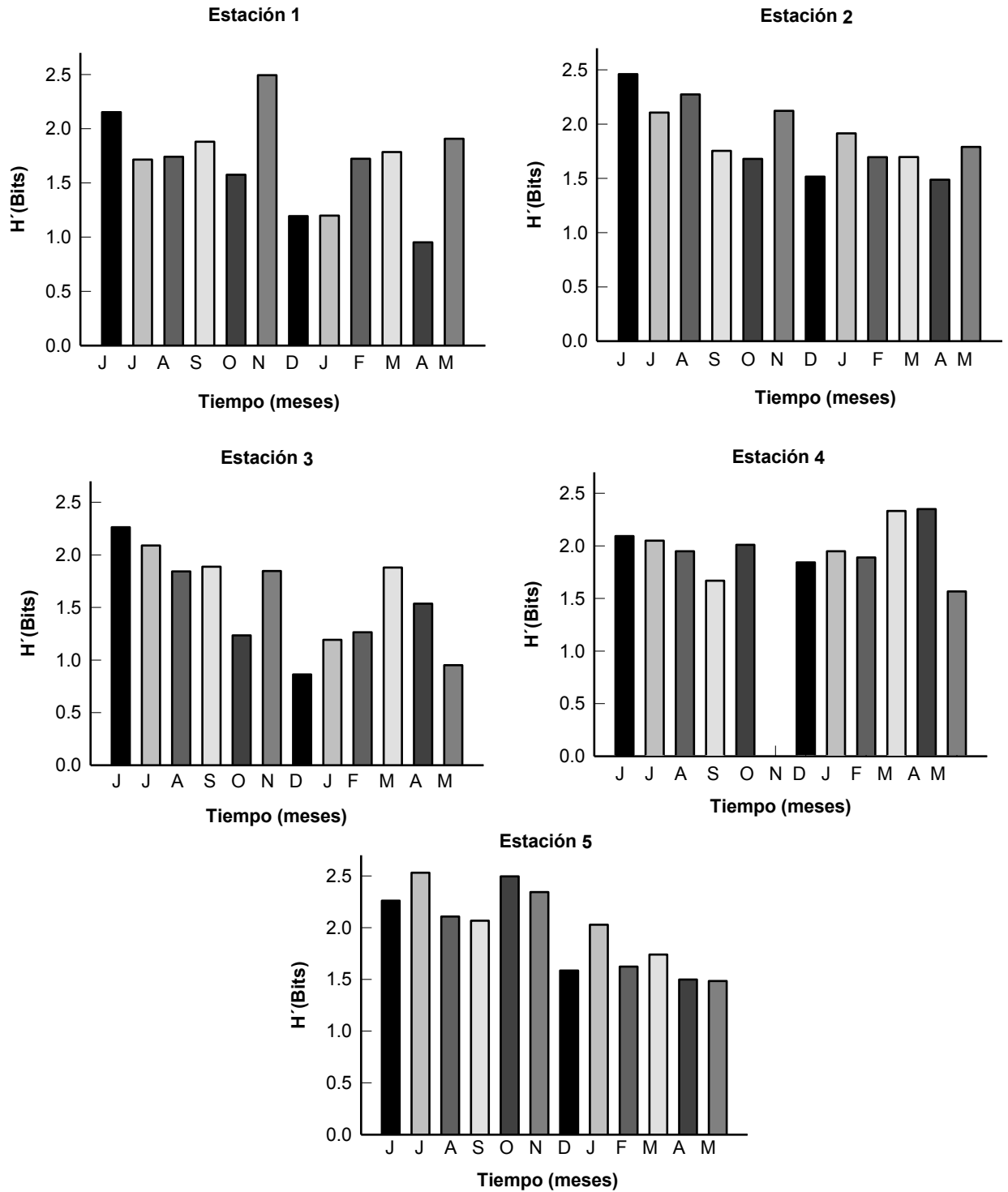


**Fig. 10** Variaciones en la densidad poblacional de copépodos por especie y estación en el periodo de estudio (junio 2011 a mayo 2012).

## Diversidad Shannon-Wiener

Según el índice de S-W, la diversidad obtuvo variaciones en los intervalos de 0.86 a 2.49 Bits ind.<sup>-1</sup> durante el año;. Las mayores diversidades se presentaron en julio en casi todas las estaciones. Se perdió muestra de la estación 4 en noviembre, por lo que se consideró como diversidad nula. Las diversidades tendieron a bajar a lo largo de estudio sin embargo en la estación 4 se incrementaba hasta bajar drásticamente en los últimos 3 meses de estudio (Fig. 11)





**Fig. 11** Variaciones mensuales de la diversidad de Shannon-Wiener por estación durante el periodo de estudio. Los datos están representados en  $H'$  (Bits ind.  $^{-1}$ ).

## DISCUSIÓN

### Variables Fisicoquímicas

Los valores de O.D. se encuentran entre los niveles mínimos requeridos de los organismos de los 0 a los 15 mg L<sup>-1</sup> (Margalef, 1983); es decir, el sistema está bien oxigenado ya que se presentan cantidades considerables para el hábitat de los organismos acuáticos, ya sea limitando o favoreciendo con su presencia y/o ausencia de los mismos (Margalef, 1983). Los valores máximos se presentaron en enero y el valor mínimo en octubre, lo cual coincide con lo observado por Díaz et al. (2005), que previamente caracterizan al O.D. en épocas de primavera-verano con valores mínimos y durante otoño-invierno incrementando sus valores hasta un máximo; se podría afirmar que el O.D. disminuye en épocas de calor ya sea debido al movimiento de la circulación horizontal causado por las corrientes de aire o bien por el incremento en la vegetación acuática. Y así mismo los valores que se presentan indican un estado de descomposición.

Nuevamente Díaz et al. (2005) reportan los valores mínimos de temperatura en diciembre y sus máximos en junio, mientras que para Quiroz et al., (2008) los valores mínimos se registraron en febrero y los máximos en agosto. En el presente estudio se mostraron los valores límites no lejanos a los mismos meses de los autores; por lo que en cuanto a la temperatura registrada en 1998 al presente análisis no hay gran variación de la estacionalidad de los límites tanto superiores como inferiores a lo largo de los años. Cabe mencionar que los valores límite de esta variable se presentaron particularmente en una estación influenciada directamente por actividades recreativas de la zona y que podría explicar los extremos en las temperaturas dentro de los intervalos de estudio; ya que las actividades antropogénicas repercuten en los incrementos de temperatura; o bien provocadas por la acción del viento que produce transferencias de calor de la superficie (Quiroz *et al.*, 2008). De acuerdo a los datos obtenidos de las temperaturas y considerando el fenómeno de circulación de las masas de agua por acción del viento y del declive del ángulo solar el lago se puede clasificar como monomítico cálido, ya que nunca se congela y gran parte del año permanece estratificado (Toreo y García, 1995; Moss, 1992).

Las variaciones más acentuadas tanto en temperaturas como en el OD por el mes de estudio, se presentaron en épocas de secas; la época de secas es considerada como una fase de concentración la cual se caracteriza por una rápida disminución en el volumen de agua, donde algunas veces llega hasta el 95%, debido al uso del agua, ausencia de lluvias y la tasa de evaporación, dejando algunas estaciones secas e iniciándose un resquebrajamiento del sedimento, la remineralización de los nutrimentos y el establecimiento de plantas terrestres pioneras que utilizan los recursos atrapados en el sedimento (Arredondo et al., 1992). Se puede

inferir que estos 2 factores se ven directamente afectados por la influencia del movimiento causado por la circulación horizontal del agua en la superficie del lago, ya sea gracias a las corrientes del agua, la morfología del mismo o a su entorno natural

En la mayoría de los lagos de la tierra el potencial de hidrógeno oscila entre 6 y 9 (Brönmark y Hansson, 2005), y las variables del estudio se encuentran dentro de estos intervalos, y aunque el pH de regiones volcánicas puede estar por debajo de las 2 unidades por los minerales ácidos presentes, no fue el caso de este sistema. Del estudio realizado en 1998 en el mismo sitio no se presentan grandes variaciones de acuerdo a la acidez del lago, ambas épocas de estudio presentan un estado neutro a su periodo de estudio. Cuando hay una tendencia siempre a la neutralidad, las condiciones favorecen el desarrollo de las comunidades tanto vegetales como animales (Bonilla-Barbosa, 1992)

De acuerdo a los valores de dureza, el agua del sistema se clasifica dentro de la categoría de aguas blandas según Boyd, (1979) indican un sistema productivo. Tanto la dureza como la conductividad que Díaz, et al; (2005) reportan; los valores mínimos de julio y diciembre y máximos en diciembre y enero respectivamente, no concuerdan con los meses de los valores límite del análisis, estas diferencias podrían deberse al paso del tiempo, o ya sea que la profundidad del lago haya aumentado o disminuido o incluso al método de análisis que se empleó.

En lo que respecta a la conductividad, aunque los valores en algunas estaciones oscilan muy por arriba de la media, este tipo de aguas no se encuentra fuertemente mineralizado, pese a que pertenezcan a sistemas de origen volcánico. Las características del agua dependen de la naturaleza de las rocas; sin embargo, pueden existir factores que afecten a la influencia de las rocas en el agua (Margalef, 1983)

Las variaciones en los nitratos se mantuvieron homogéneas en las estaciones, y no superan los límites para este cuerpo de agua, ya que las concentraciones (nitratos) no sobrepasan los valores permisibles entre 5 a 10  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; mientras que la mayor variación en la concentración de fosfatos (límite superior) se presentó en la estación 3, donde se encuentran la mayor cantidad de sedimento y que por factores externos son removidos para su suspensión constante en la columna de agua; estos últimos generalmente son ricos en fósforo y la concentración se ve afectada por el transporte del agua constante (estación conectada al río que alimenta a la Laguna) como se presenta en este caso (Brönmark y Hansson, 2005). La estación de la zona centro presentó los valores mínimos de estas dos variables y de acuerdo a lo planteado anteriormente, no cuenta con factores que pudieran incrementar estos niveles tales como los sedimentos que bordean el lago o inclusive los mismos organismos, por lo que podríamos afirmar que los factores externos tienen una fuerte influencia en el cambio en las concentraciones de sedimentos. Y a pesar de ser un lago de origen volcánico donde el tipo de

sustrato podría afectar directamente los valores de nutrimentos debido a las sales presentes, los valores se mantuvieron dentro de los intervalos normales para los lagos de México; la geología no afectó en ninguna medida a este tipo de variable ambiental.

Debido a la localización de la zona y de acuerdo a los estudios en lugares próximos (Estado de Morelos) Palacios (2013) marca dos épocas: lluvias: donde hay un incremento en el volumen del agua y estiaje: donde existe una alta concentración de elementos en los sistemas. Esta dinámica afecta directamente a la calidad del agua así como su estado trófico y por lo tanto, la dinámica de los organismos. Menciona a las épocas de donde hay mayor abundancia y diversidad de organismos; y efectivamente las mayores densidades y diversidades de organismos en Zempoala se presentaron en julio en épocas de lluvias (Copepoditos).

## Comunidad de microcrustáceos

Las diferencias en las variaciones que se presentan tanto en dominancia, densidad y presencia podrían estar relacionadas según Urabe (1989) directa o indirectamente con el régimen hidrológico, tiempo de retención y heterogeneidad espacial de las condiciones bióticas y abióticas; Thomasson (1956) y Steinitz-Kannan *et al*; (1983) afirman que en los lagos de este tipo, la estructura del zooplancton está influida por la alternancia entre las estaciones de lluvia y estiaje que provocan cambios en la química del agua. Por lo que las grandes variaciones de la población podrían estar influenciadas de manera directa por los cambios en el ambiente.

El dominio de la riqueza del zooplancton en la Laguna de Zempoala ha sido observado anteriormente por Trejo en 2012, quien reporta un total de 22 especies, dentro de las cuales 2 especies de copépodos y 3 de cladóceros, Granados y Álvarez (2007) reportan 8 especies. (5 cladóceros y 3 copépodos). En otros estudios sobre la riqueza del zooplancton en embalses del estado de México, Piedra en 1998 en el Lago de Tequesquitengo reportó igualmente un total de 3 especies de copépodos y 3 de cladóceros; Gómez y Montero (2003) enfatizan, en su estudio sobre calidad del agua de 3 embalses del Estado de Morelos, que la dominancia del zooplancton estuvo representada por 2 especies de copépodos y 2 de cladóceros; podríamos concluir que el dominio de la riqueza no supera a las 3 especies por grupo, dicho sistema concuerda con la riqueza de los estudios anteriores de la zona.

Según Margalef (1983), la diversidad más frecuente en el zooplancton de lagos que se encuentran bajo condiciones climáticas rigurosas, se presentan entre 1.5 y 2.5 bits/ind; los resultados obtenidos en el análisis por estación concuerdan con lo anterior; ya que las diversidades no superaron los 3 bits/ind, y los valores se ajustan a intervalos sugeridos por el mismo autor; sin embargo, Gayosso (2007) indica que valores por debajo de los 2.5 bits/ind indican que el sistema está sometido a tensión; y habiendo estaciones y temporadas donde la diversidad fue menor a 2.0 bits/ind, se podría afirmar que efectivamente, el sistema está bajo tensión, aunque por otra parte la diversidad de especies zooplanctónicas tiende a ser baja-media en ecosistemas controlados por variables físicas y químicas (Keppeler y Hardy, 2004). Aun así, estos niveles de diversidad pueden indicar una interacción débil entre los elementos de la comunidad ya sea por las perturbaciones biológicas, como la depredación, donde se reducen las densidades de los competidores potenciales (Sommer et al, 1993) o bien por la capacidad de conexión interna o interacciones entre las especies del ecosistema (Bermúdez, 2010).

Existe una relación negativa entre la acidez (5-6) y las densidades poblacionales de los organismos, afectando de manera directa a la diversidad de las especies de zooplancton (Fryer,

1980; Cammarano y Manca, 1997); esto se afirma de manera específica en abril donde el pH es más bajo en todas las estaciones y la diversidad fue baja en comparación a todos los meses de muestreo. Otro de los factores que influyen en los cambios de diversidad de especies es la zona de colecta, un ejemplo claro es la estación 5 (zona cercana al centro del lago) donde obtuvo un promedio ligeramente mayor en sus diversidades más que en las demás estaciones; este fenómeno se puede deber a que no es una zona con alto impacto de influencia externa, y por lo tanto la estructura y dinámica del zooplancton está influenciada exclusivamente o en su mayoría por factores abióticos naturales, tales como las características morfológicas e hidrológicas de la cuenca de drenaje, régimen térmico y químicos, además de los factores bióticos relacionados con procesos de colonización, selección e interacción de especies (Matsumura-Tundisi et al., 1990).

## Cladóceros

Las familias Daphniidae y Chydoridae son las más diversas en México a excepción de Bosminidae (Suárez-Morales, 2000) y el género *Daphnia* comprende los cladóceros cuantitativamente más importantes en el zooplancton; sin embargo las especies que se representan dentro de estas familias (Daphniidae y Bosminidae), no se encuentran presentes en su totalidad durante periodo de estudio; aunque, Hutchinson (1967) menciona que son organismos que actúan de forma independiente y se ha observado que se superponen con otras poblaciones compitiendo por alimento y diversificándose especialmente en el plancton y constituyen una fracción muy importante del zooplancton lacustre total (Margalef, 1983), esta situación se presenta en el caso de la familia Chydoridae (*Alona* sp) donde su presencia es más relevante en las diversas condiciones externas; por ejemplo, están presentes en estaciones donde la cantidad de sedimento es mayor, y se podría afirmar que gracias a su morfología estos organismos toleran este tipo de condiciones (aunque también la densidad poblacional de la especie se vio favorecida con altos niveles de oxígeno).

Las variaciones en las densidades por estación se caracterizaron por un aumento drástico en el primer mes de estudio, únicamente por *Alona* sp. así mismo, es la especie dominante de cladóceros tanto en estaciones como a lo largo del periodo de estudio; Steiner y Roy (2003) sugieren que la estructura de la comunidad del zooplancton en ausencia de depredadores invertebrados en condiciones de bajas concentraciones de alimento, aunado a las condiciones ambientales se pueden ver favorecidos los taxos de menor tamaño: *Alona* sp. es el microcrustáceo de menor talla. Es un hecho que la introducción o presencia de especies depredadoras (peces) puede provocar la extinción, reemplazo o baja densidad de especies en el zooplancton, particularmente de cladóceros (Cammarano y Manca, 1997; Larson et al., 2002, Cavalli et al., 2001 ), podríamos atribuir el ligero decremento poblacional de *Alona* sp. a este

factor. Por lo que podríamos afirmar que la presencia de esta especie indica cambios en el nivel del agua de la laguna, ya sea por periodo pluvial o por disturbios antropogénicos.

Las especies de *Daphnia* han sido ampliamente utilizadas en los estudios ecológicos y evolutivos (Forró et al., 2008); durante el análisis, esta especie se determinó por su ausencia en los sedimentos y en temperaturas mínimas, por lo que se le podría considerar como una especie sensible a cambios bruscos del ambiente. Brönmark y Hansson (2005) mencionan que los *dafnidos* forman huevos de resistencias en temperaturas bajas con un fotoperiodo corto, baja comida y la presencia de depredadores; esta circunstancia pudo haber determinado la ausencia de los individuos y la posible presencia de huevos de resistencia en el área.

En relación a las densidades, las diferencias entre las especies de cladóceros fueron marcadas en julio con *Alona* sp. Esta especie y *Daphnia* sp. muestran que por los menos existe un ascenso en los niveles de densidades por mes de muestreo; estas diferencias se podrían deber a las oscilaciones en la concentración de los nutrimentos.

Un comportamiento general observado de *Bosmina* sp. es que presenta sus densidades mínimas en la estación 3; donde existe mayor suspensión de sedimentos en la columna, esto se puede deber a que las *Bosmina* nadan de modo continuo con movimientos rápidos de las antenas y, amenazadas, se detienen y se dejan sedimentar (Margalef, 1983), y ya que las tomas de las muestras no se realizaron por profundidad y se evitó la acumulación de sedimentos en la muestra, una posible hipótesis donde se encuentre un mayor número de organismos de esta especie en los fondos o en profundidades cerca o inclusive en los sedimentos.

Las diferencias observadas en las densidades poblacionales de los cladóceros donde la presencia y la densidad eran casi nulos en la mayoría de los meses, generalmente se le atribuye a un efecto migratorio horizontal de los microcrustáceos hacia la zona de vegetación, posiblemente como una estrategia de huida de los predadores (peces o invertebrados) esencialmente por las preferencias de los peces por los cladóceros; o a la mayor disponibilidad alimenticia en estas estaciones (Acosta, 2005).

## **Copépodos**

Las densidades poblacionales que presentaron los copépodos fueron superiores que las presentadas por los cladóceros; esto se debe a que los copépodos forman poblaciones que contienen números comparables de individuos de los dos sexos, viven más tiempo (entre

semanas y meses), disponen de más órganos sensibles a las ondas de presión y su capacidad locomotora es muy superior; por lo que son más efectivos que los cladóceros en migrar verticalmente, aunque sus poblaciones están más esparcidas y menos diversas, uniformizan las modalidades con que se realiza la interacción con otras especies sobre extensiones grandes del lagos, (Margalef, 1983); además de las preferencias alimenticias de los peces por los cladóceros.

Los estadios de copépodos tuvieron una fuerte influencia tanto en presencia como en abundancia en este estudio; y como la duración de las distintas etapas de la vida se relaciona con factores externos (principalmente temperatura y alimentación); Suárez-Morales, (2006) afirma que las abundancias totales de los estadios inmaduros, principalmente de diaptómidos y cyclopides, pueden llegar a representar porcentajes importantes del zooplancton en ciertos periodos del año. Margalef (1983) recalca que los estadios son los más dominantes y abundantes a su tipo de alimentación; ya que las formas jóvenes y las especies de menor talla son siempre más micrófagos y pueden consumir casi todo lo disponible en el medio que favorezca su crecimiento; y por ende, la concentración y las características del alimento definen los grupos dominantes.

Por otra parte Dussart y Defaye (1995) mencionan que los nauplios no se distribuyen ampliamente debido a su limitación en cuanto a su desarrollo morfológico ya que su desplazamiento está limitado y por consecuencia se segregan en ciertas estaciones donde se registran altas abundancias, caso no presentado en el análisis de frecuencia donde precisamente los nauplios fueron uno de los grupos más dominantes tanto a lo largo estudio como en las estaciones. Aunado a lo anterior Gayosso (2013), en un estudio realizado en otro tipo de sistema (embalse Manuel Ávila Camacho) afirma que una de las mayores densidades las presentaron las larvas nauplio; se podría afirmar que las larvas nauplio se distribuyen ampliamente y tienen una marcada presencia no solamente en lagos.

Como ya se mencionó la dominancia de los organismos durante el estudio podría estar relacionada directamente con las características abióticas como podría ser la concentración del alimento en especial para aquellos componentes de menor tamaño como son los estadios de copépodos (Trejo, 2012). Por otra parte la dominancia numérica de estadios tempranos de desarrollo de los copépodos es el patrón más común, el cual se ha registrado en diferentes hábitats dulceacuícolas (Moreno, 2003), ya que la existencia de estos es de gran importancia para la estructura comunitaria del zooplancton, con relación a la dinámica poblacional, y también a los aspectos tróficos, por las fases tempranas que pueden ocupar nichos diferentes a la que ocupan cuando son adultos (Neves et al; 2003). Con base en lo anterior, la dominancia de los estadios tempranos de copépodos no solamente se ve favorecida por las condiciones



abióticas del medio sino también a la amplitud de nicho que se estos poseen, y toman una relevancia en el presente análisis.

Margalef (1983) menciona que los copépodos suelen estar representados por uno o dos diaptómidos y un ciclopoides, este límite se excede en los ciclopoides puesto que se presentaron 2 especies en el estudio. Si se comparan los resultados en cuanto a la riqueza con estudios previos dentro del área estudio, se aprecia que la presencia de las especies tanto de copépodos como de cladóceros está bien representada y así mismo coincide con el número de especies encontradas.

*L. cuauhtemoci* fue descrita en la Laguna Mayor y Laguna de Compila del mismo sistema (Suárez-Morales et al., 2000), sin embargo el material se perdió y no había sido reportada hasta 2012 por Trejo, que menciona que la presencia de esta especie es frecuente y constante en la mayoría de sus estaciones de muestreo en el Lago de Zempoala; y es parte importante de la estructura zooplanctónica; además de que en el estado de Morelos es considerada como endémica de los lago del Parque Nacional, ya que es el único copépodo calanoide que predomina en estos cuerpos de agua con elevada abundancia principalmente en las épocas de calor (CONABIO Y UAEM, 2004).

La familia Diaptomidae es un grupo poco variado, sin embargo los copépodos de agua dulce están representados por esta familia principalmente; por otra parte se describe a este género (*Leptodiptomus*) como el más diverso en México (Elías-Gutiérrez et al., 2008): *L. cuauhtemoci* es la especie de copépodos más dominante en sus géneros (macho y hembra) y con mayor presencia; dicha especie no está directamente influenciada por ninguna variable ambiental de acuerdo al análisis de ordenación (Fig. 12). Con lo planteado con anterioridad esta especie la podríamos categorizar como una especie exitosa con amplia distribución en la Lago de Zempoala.

Nuevamente *L. cuauhtemoci* fue reportada en dos Lagos de Alta Montaña por Dimas en 2005; donde se presentó en los meses de septiembre a noviembre con valores máximos de 2.78 ind m<sup>-3</sup> en la superficie, mientras que en otro lago fue la segunda especie con mayor abundancia presentándose durante todo el año con valores máximos en noviembre, lo anterior indica que *L. cuauhtemoci* en cuanto a su distribución no solamente se restringe al estado de Morelos y que al igual que en el presente estudio es abundante en diversos lagos.

Las especies reportadas del orden Cmajor tendencia a ser estar ampliamente distribuido (Suárez-Morales et al, 2000) existieron grandes diferencias en las densidades de copépodos adultos por especie. Al contrario de las especies Cyclopoidas y especialmente *P. fimbriatus* que adquirió los valores mínimos de densidades; la misma especie fue reportada por Dimas en 2005 en la zona litoral de Lagos de Alta Montaña. Muchos autores mencionan a *M. albidus* como un control natural de larvas de mosquitos (Marten, 2000), cabe señalar que durante el estudio, las larvas de mosquitos no se observaron, y por ende la ausencia del alimento limita las densidades de la especie.

El planteamiento mencionado en cuanto a la diferencia en las densidades de los estadios y que los adultos se vuelven macrófagos; la cantidad de alimento disponible en su medio se reducirá a la medida de su selectividad (Margalef, 1983) los grandes ciclopoideos de los géneros *Macrocylops* son típicamente macrófagos y capturan animales relativamente grandes, esto podría ser una razón de la baja densidad de *M. albidus*: debido a su selectividad, y que probablemente la cantidad de alimento disponible sea escasa en el lago en tanto a sus preferencias alimenticias. Si comparamos las densidades entre copépodos ciclopoideos y calanoideos, Palacios (2013) obtuvo en sistemas acuáticos próximos, obtuvo valores máximos de ciclopoideos a finales de verano y principios de otoño y calanoideos de la época de lluvias a otoño; los aumentos no se vieron tan marcados en ciclopoideos en verano, pero si en la especie de calanoide de lluvias a otoño; por lo que se podría sugerir que los copépodos calanoideos de este sitio presentan tendencias de aumento en esta temporada.

Uno de los aspectos más importantes dentro de una población de organismos es la proporción de sexos, fluctuando constantemente a lo largo del año (Irigoiien et al., 2000, Beyrend-Dur 2010, Devreker et al., 2010). Muchas poblaciones de copépodos tienen un sesgo en la proporción que generalmente favorece a las hembras (Kiorbe y Hansen, 1993); se observó durante el análisis poblacional que las hembras alcanzaron niveles superiores en la densidad poblacional que en la de los machos, estas fluctuaciones se pueden asociar a diversos factores:

a) La depredación diferencial; gracias al dimorfismo sexual que presentan algunos organismos; los depredadores, prefieren al sexo que se mueva más lento, por ende un pequeño depredador come el sexo más pequeño y en el caso de los copépodos, siendo los machos los de menor talla que las hembras en poco más del 10% (Barrera, 2010), la supervivencia de machos se ve reducida debido a sus patrones de motilidad y velocidad (Kiorbe y Hansen, 1993). Y aunque no se observaron grandes cantidades de depredadores de copépodos a lo largo del análisis y en todo el lago, esto podría ser una de las causas en las que la población de machos tanto calanoideos como ciclopoideos tuviera niveles mínimos o inclusive sin presencia de los mismos en algunas estaciones y meses.

b) Longevidad y mortalidad (Gusmão y Mckinnon, 2009) ya que las hembras pueden garantizar la fertilización, la longevidad de las mismas favorece a su población debido a que tienen acceso a más recursos para su supervivencia generando que en las hembras tengan su ciclo de vida sea más longevo y mayor resistencia a los cambios. Las diferencias en las proporciones en el análisis de lago no se podrían explicar del todo por esta circunstancia, ya que estos patrones son difíciles de estimar y no siempre explica la proporción (Korperlainen, 1990), además de la necesidad de estudios complementarios que soporten esta causa.

c) Competencia: esta sección conlleva a las interacciones específicas de la población. Los machos tienden a competir más intensamente por las hembras debido a la presencia de competidores potenciales (Jormalainen et al., 1994 y Dick y Elwood, 1996); este tipo de comportamiento puede afectar a la proporción de sexos, y aunque no se cuentan con fundamentos que expongan a este factor como determinante en el sesgo del presente estudio, se podría inferir que dicha competencia afectaría de manera directa a la densidad poblacional de los machos, porque interfieren unos con otros cuando se encuentran en mayores proporciones (Dur et al., 2011).

d) Migración de los sexos: Considerando los métodos usados para la obtención de las muestras, los organismos obtenidos pertenecen a una distribución vertical poco profunda, así las diferencias en las proporciones se explicarían por migraciones. Las hembras y los machos sexualmente maduros migran a la superficie o a hábitats poco profundos, mientras que los machos inmaduros (sin espermátóforos) residen en zonas más profundas (Hayward, 1981), lo que ocasiona un sesgo de la población de machos en su distribución vertical, se podría suponer que la mayor población de machos se encuentra en zonas más profundas del lago.

e) Cambios en el ambiente (Gusmão y Mc Kinnon 2009), es bien sabido que los organismos están expuestos al ambiente y de alguna forma esto repercute ya sea positiva o negativamente sobre ellos mismos o sus poblaciones. Basándose en las variables descritas con anterioridad en relación a los factores abióticos que influyen en la comunidad, es lo que explicarían en gran medida la proporción de sexos. Por ejemplo en el caso de los copépodos calanoideos existe evidencia que el sexo está bajo control ambiental (Mauchline, 1998), específicamente los machos que pueden tener una vitalidad disminuida a temperaturas bajas (Margalef, 1983), esto se afirma en este estudio ya que las densidades poblacionales eran nulas tanto en otoño-invierno. Por otra parte se ha demostrado que la presencia de contaminantes podría impulsar la proporción de sexo a favor de las hembras y dado que nuestro lugar de estudio es una zona de influencia antropogénica propicia a la contaminación, esto explicaría la proporción de la densidad a favor de las hembras.

d) Intersexos: este factor depende distintivamente de los factores ambientales que puedan incurrir en los organismos (Korpelainen, 1990; Mauchline, 1998). Dicha adaptación se refleja en los machos, cualquier presión que se detecte podría ser una causa en el cambio del sexo en su desarrollo (específicamente en el estadio V), esto se refleja en la morfología específica que se presenta en el estado adulto (la quinta pata presenta caracteres distintos a la de una hembra

“genuina”). Dicho antecedente podría explicar la menor proporción de los machos y la sensibilidad que estos presentan a las variables fisicoquímicas que se estudiaron. Otro argumento y futuro objeto de estudio dentro del cuerpo de agua; específicamente los estados larvales y las diferencias ente el quinto y sexto estadio, para conocer con certeza si existen factores que afecten a los organismos generando intersexos y como consecuencia los sesgos en la población de los machos.

f) La reproducción evolutiva se lleva a cabo gracias a las características morfológicas que poseen las hembras y a la capacidad de fertilizarse sin presencia de los machos ya que cuentan con un receptáculo seminal (Cyclopoides). Esta podría ser una de las más importante causas en el sesgo en la proporción de sexo en el lago. Se observa que la ausencia de los machos en cyclopoides es más evidente.

## Relación variación ambiental - comunidades de microcrustáceos

En las estaciones de muestreo se observaron variaciones muy marcadas desde la diversidad hasta las densidades. La principal estación que adquirió los cambios más marcados en los valores de densidades es la estación 3. Dicha estación está alterada por actividades humanas turísticas, Nandini et al (2008) recalca que las diferencias de cambios apoya la teoría de las perturbaciones antropogénicas.

De maneja general, los cambios en las variables ambientales del sistema pueden explicar el comportamiento del zooplancton para este tipo de lagos; esta tendencia ha sido estudiada y descrita previamente por Margalef (1983); Reid (1989); Suárez-Morales et al. (2000) y consideran que existen factores que propician los incrementos en el zooplancton en relación a su ciclo de nutrientes, incidencias de luz, transparencias y aumentos en la temperatura y épocas de estiaje; todo en función a los cambios en el tiempo y en el espacio, aunque las densidades entran dentro de los límites de Margalef (1983) de 50-500 ind L<sup>-1</sup>. Ejemplo de lo anterior se muestra en los comportamientos de las variables de la estación 5, donde los cambios son más marcados y las densidades de los cladóceros presentan niveles mínimos a lo largo del estudio. En el caso de los copépodos únicamente dos especies parecen ser afectadas por estas variaciones (*L. cuauhtemoci* y *M. albidus*) manteniendo densidades bajas a lo largo del año.

Por otra parte García et al. (2010) en el estudio de componentes zoobentónicos del mismo lago menciona que las poblaciones más bajas se presentaron en primavera-verano y se incrementaron en otoño-invierno, mientras que en el estudio las variaciones más altas (copepoditos) se presentaron en épocas de primavera-verano; estas diferencias pueden deberse a que los cuerpos de agua con frecuencia albergan poblaciones diferentes en tanto a especies como en densidades hasta alcanzar un nivel máximo en un tiempo determinado, dicho proceso se encuentra regulado por diferentes factores, siendo el más importante el ciclo de vida de la especie, seguido de la disponibilidad del alimento, las perturbaciones o bien por la movilidad de los organismos; y como en cladóceros y copépodos la trayectoria horizontal no es continua, se pueden presentar distribuciones de contagio; donde la probabilidad de encontrar a un individuo es mayor en las inmediaciones donde se ha censado ya a uno de ellos, este tipo de fenómeno es muy común de los colectivos biológicos dependientes de la reproducción (Margalef, 1983).

## CONCLUSIONES

- La comunidad de microcrustáceos presentes en el Lago de Zempoala estuvo compuesta por 6 especies: 3 Cladóceros; *Alona* sp., *Bosmina* sp. y *Daphnia* sp.; 3 Copépodos: *Leptodiptomus cuauhtemoci*, *Macrocylops albidus* y *Paracyclops fimbriatus*.
- Los 3 grupos más dominantes (alta frecuencias y abundancia) en el periodo de estudio: los estadio de copépodos, *Alona* sp., y por último *L. cuauhtemoci* tanto en hembras como en machos.
- La diversidad varió hasta los 2.5 bits ind<sup>-1</sup> indicando una diversidad media.
- Los copépodos ciclopoideos obtuvieron una menor abundancia por estación y mes.
- En copépodos tanto calanoideos como ciclopoideos existe una mayor proporción de hembras que de machos.
- Los resultados obtenidos indican cambios estacionales y temporales durante el ciclo de muestreo, es decir, las variaciones que se presentaron entre las estaciones de colecta estuvieron afectadas directamente por las condiciones ambientales, así como por las características del sistema y las interacciones poblacionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta F. 2005. Caracterización del zooplancton de lagunas en la llanura inundable del Río Ichilo (Cochabamba-Bolivia). *Revista Biología Ecológica*. 17: 01-14 pp.
- Aguilar A. C. R. 2010. Variaciones estacionales de crustáceos (Cladóceros y Copépodos) en la Presa Iturbide, Estado de México. Tesis de Licenciatura Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alcocer, J., E. y Bernal-Brooks F. W, 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiología* 644: 15-68 pp.
- APHA, IWWA, WRCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. España Ed. Díaz de Santo. 1575 pp.
- Arredondo, F. J. L. y Aguilar D. 1987. Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas, realizadas en los lagos mexicanos con especial énfasis en su ictiofauna. En: Gómez, A. S. y Arenas, F. B. (Eds.). *Contribuciones en hidrobiología*. UNAM, México. 91-133 pp.
- Arredondo-Figueroa J. L. y A. Flores-Nava. 1992. Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuacultura. *Revista Hidrobiológica*. UAM Iztapalapa. 2(1): 1-10 pp.
- Arriaga C. L, V. Aguilar S y J. Alcocer D. 2000 *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. CONABIO. México.
- Bermúdez R. Y. 2010. Diversidad del Orden Cladóceros (Crustácea: Brachiopoda: Phyllopoidea) de las pozas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Ciudad Universitaria. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM 67pp.

- Beyrend-Dur D. 2010. Life history traits of key brackish copepods from temperate to tropical environments. Station Marine de Wimereux, Univ. of Lille, Lille, France; Institute of Marine Biology, National Taiwan Ocean Univ., Keelung, Taiwan, 215 pp.
- Bonilla-Barbosa J R. 1992. Flora y vegetación acuática vascular de las Lagunas de Zempoala, Morelos México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México 134 pp.
- Bonilla-Barbosa, J. R. y Novelo, R. A. 1995. Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. Cuadernos IBUNAM. Instituto de Biología. UNAM. México. 168 pp.
- Boyd C. E. 1979. Water quality in warmwater fish pond Craftware Pinters. Inc Opelika E. U. A.
- Brönmark C. y Hansson L-A. 2005. The Biology of Lakes and Ponds. Segunda Edición. Oxford University Press. NY USA 7.65 pp.
- Byron T. 2001. The distribution of calanoid copepods in the plankton of Wisconsin Lakes. *Hydrobiologia* 453/454: 351-365 pp.
- Cammarano P. y M. Manca 1997. Studies of zooplankton in two acidified high mountain lakes in the Alps. *Hydrobiologia* 356: 91-109 pp.
- Carruyo-Noguera J., Reyes J. L. Casler C. L., Reverol Y. 2006. Cladóceros (Crustácea, Brachiopoda) de la Laguna de Kunana, Sierra de Perijá, estado Zulia, Venezuela. *Rev. Scielo*.
- Cavalli L., A. Miquelis y T. Chappaz. 2001. Combined effects of environmental factors and predator-prey interactions on zooplankton assemblages in five high alpine lakes. *Hydrobiologia* 455: 127-135 pp.
- CONANP. 2000 Comisión Nacional de áreas Naturales Protegidas. Información tomada de <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/Modif-Zempoala.pdf>



- CONABIO 1998. Mapa: características generales del territorio mexicano. Sistema de información geográfica. México
- CONAGUA. 2012. Estadísticas del Agua en México 2008. ISBN 978-968-817-895-9. 1ª Edición. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. DF. 226 pp.
- Conde-Porcuna J. M., Ramos-Rodríguez E. y Morales-Baquero R. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas* 13 (2): 23-29 pp.
- CONABIO y UAEM. 2004. La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado. Contreras-MacBeath, T., J. C. Boyás, F. Jaramillo (editores). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México
- De la Lanza E. G. y García C. J. L. 1995. Lagos y Presas de México. 1ª Edición Centro de Ecología y Desarrollo. México 320 pp.
- Declerck, S., Podoor, N., Geenens, V., Conde-Porcuna, J.M. y DeMeester, L. 2003. Intra-specific density dependence in the dynamics of zooplankton under hypertrophic conditions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 919-928 pp.
- Devreker D., S. Souissi, J.C. Molinero, D. Beyrend-Dur, F. Gomez, J. Forget-Leray. 2010. Tidal and annual variability of the population structure of *Eurytemora affinis* in the middle part of the Seine estuary during 2005. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 89: 245-255 pp.
- Díaz V. M., Elizalde A. E. E., Quiroz C. H., García R. J. y Molina E. I. 2005 Caracterización de algunos parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*. México. 15 (2)57-65 pp.
- Dick J. T. A. y Elwood, R. W. 1996: Effects of natural variation in sex ratio and habitat structure on mate-guarding decisions in amphipods (Crustacea). — *Behaviour* 133: 985–996.

- Dimas F. N. 2005. Dinámica y Estructura del Zooplancton de dos Lagos de Alta Montaña, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología UNAM 73 pp.
- Dodson, S. I. y Frey D. G. 2001. Cladocera and other Branchiopoda. In Thorp, J. H. & Covich, A. P. (eds), Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, 2nd edn. Academic Press, San Diego, San Francisco: 849–913pp.
- Dumont, H. y Negrea S. 2002. Introduction to the class Branchiopoda. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World, Backhuys Publishers, The Netherlands.
- Dur G, S Souissi, FG Schmitt, D Beyrend-Dur, JS Hwang. 2011. Mating and mate choice in *Pseudodiaptomus annandalei* (Copepoda Calanoida). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 402: 1-11 pp.
- Dussart B. H. y D. Defaye. Copepoda. 1995. Introduction to the copepoda. SPB Academic Publishing. 277 pp.
- Elías-Gutiérrez M., Suárez-Morales E., Gutiérrez-Aguirre M. A., Silva-Briano M., Granados-Ramírez J.G., Grafías-Espejo T. 2008. Cladóceras y Copépodos de las Aguas Continentales de México. Guía ilustrada. Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM. 322 pp.
- Fernando, C. H. 2002. A guide to tropical freshwater zooplankton. Backhuys Publisher, Leiden, The Netherlands, 291 pp.
- Forró L., Korovchinsky N. M., Kotov .A. A. 2008. Global diversity of Cladocera (Cladocera; Crustacea) in freshwater. Hydrobiologia 595: 177-184 pp.
- Frey D. G. 1987. The taxonomy and biogeography of the Cladocera. Hydrobiologia 145: 5-17 pp.
- Fryer G. 1980. Acidity and species diversity in freshwater crustacean faunas. Freshwater Biology 10: 41-45 pp.

- García R J., Molina A. F. I., Díaz V. M. y Quiroz C. H. 2010. Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el Lago Zempoala, Morelos. México. Acta Universitaria. 20 (2): 23-30 pp.
- Gayosso M. A. 2013. Variación Espacial y Temporal del Zooplancton (Énfasis: Cladóceras) en el embalse Manuel Ávila Camacho, Periodo Agosto del 2008 a Febrero 2009. Tesis de Maestría, Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM
- Geoff A. B. y Defaye D. 2008. Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) freshwater. Hydrobiologia 595: 195-207pp.
- Gómez D. E. y Montero Z. M. B. 2003. Estudio de la calidad del agua de tres cuerpos acuáticos en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura ENEP- Zaragoza-UNAM 922pp.
- Gophen M., Serruya S. y Spataru P. 1990. Zooplankton community changes in Lake Kinneret (Israel) during 1969-1985. Hydrobiologia 191: 39-46 pp.
- Granados R. J. G. y Álvarez. 2007 Rotíferos de Embalses: Subcuenca del Río Cuautla, Morelos-México. Scientiae Naturae. 6(1): 33-44 pp.
- Gusmão L.F.M., A.D. McKinnon. 2009. Sex ratios, intersexuality and sex change in copepods. J. Plankton Res. 31: 1101-1117 pp.
- Hutchinson E. G. 1967. A treatise on limnology. Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley and Sons NY. EUA, 2: 1015 pp,
- Hutchinson E. G. 1993. A Treatise of Limnology. Volumen IV. The Zoobenthos. Ed. Wiley USA. 944 pp.
- Irigoiien X., B Obermüller., R. N. Head, R. P. Harris., C Rey., B. W. Hansen., B.H. Hygum., M. R. Heath y E.G. Durbin. 2000. The effect of food on the determination of sex ratio in *Calanus* spp.: evidence from experimental studies and field data. ICES J. Mar. Sci. 57: 1752-1763 pp.

- Jiménez-Contreras J. 2009. Evaluación de los cambios en la comunidad zooplanctónica durante tres ciclos anuales en un embalse profundo (Valle de Bravo, México) con importantes variaciones en el nivel. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jormalainen V., Tuomi, J. y Merilaita S. 1994: Effect of female resistance on size-dependent precopula duration in mate-guarding Crustacea. — *Animal Behaviour* 47: 1471–1474 pp.
- Jotaro U. 1989. Relative importance of temporal and spatial heterogeneity in the zooplankton community of an artificial reservoir. *Hydrobiologia* 184: 1-6pp.
- Keppeler E. C. y E. R. Hardy. 2004. Abundance and composition of rotifera in an abandoned meander lake (Lago Amapá) in rio Branco, Acre, Brazil. *Revista Brasileira de Zoología* 21: 233-241 pp.
- Kiorbe T. J. y Hansen L. S. 1993. Phytoplankton aggregate formation: observations of patterns and mechanisms of cell sticking and the significance of exopolymeric material. *J. Plankton Res.* 15: 993-1018 pp.
- Korpelainen H. 1990. Sex ratio and conditions required for environmental sex determination in animals. *Biological Reviews*, 65: 147-184 pp.
- Korovochinsky, N. y N. Smirnov. 1988. Introduction to the “cladocera” (Ctenopoda. Anomopa, Onychopoda and Hapopoda). Supplemented for American A. N. Serverstov Institute of Animal Evolutionary Morphology and Ecology of Russian Academy of Sciences. Lieninsky, Moscow, Russia. 143 pp.
- Lampert, W. Y U. Sommer. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. New York. 382 pp.
- Larson L. G., R. L. Hoffman y C. D. McIntire, 2002. Persistence of an unusual pelagic zooplankton assemblage in a clear, mountain lake. *Hydrobiologia* 468: 163-170 pp.

- Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España. 331-681 pp.
- Marten, G. G., Nguyen M., Mason B., y Ngo G. 2000. Natural control of *Cuñexquinquefasciatus* larvae in residential ditches by the copepod *Macrocyclops albidus*. *Journal of Vector Ecology*. 25(1): 7-15 pp.
- Matsumura-Tundisi T., N. S. Leitão, y J. Miyahara. 1990. Eutrofización de la Represa Barra Bonita: Estructura y Organización de la comunidad de los rotíferos. *Rev. Braz. Biol.*, 50: 923-395 pp.
- Mauchline J. 1998. The biology of calanoid copepods *Crustaceana*, (81) 6: 763-764 pp.
- MIA Anteproyecto Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional Lagunas de Zempoala. 2008 Programa de Manejo Parque Nacional Lagunas de Zempoala. CONANP. Dirección Regional Centro y Eje Neovolcánico. 193 pp.
- Mondragón E. O. 2007. Variación horizontal y vertical de la temperatura, oxígeno disuelto y bióxido de carbono en dos lagos del Parque Nacional de las Lagunas de Zempoala, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos 59 pp.
- Monroy, R. y M. Taboada. 1990. Monografía de los tipos de vegetación del área de protección de Flora y Fauna Silvestre "Corredor Biológico Chichinautzin". En: Programa Integral de Manejo para el Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre y Acuática "Corredor Biológico Chichinautzin", Edo. de Morelos. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 126-141 pp.
- Moreno A. R. P. 2003. Comunidades Hidrobiológicas en los Humedales de Ventanilla, Callao. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Federico Villareal. Lima Perú. 677 pp.
- Moss B. 1992. *Ecology of Fresh Waters, man and medium* Blackwell Scientific Publications. Great Britain. 417 pp.

- Nandini, S., M. Merino-Ibarra y S. S. S. Sarma. 2008 Seasonal changes in the zooplankton abundances of the reservoir Valle de Bravo (State of Mexico, Mexico). Lake and Reservoir Management. (en prensa).
- Neves I. F., O. Rocha., K. F. Roche y A. A. Pinto. 2003. Zooplankton community structure of two marginal lakes of the River Cuiabá (Mato Grosso, Brazil) with analysis of rotifera and cladocera diversity. Brazilian Journal of Biology 63: 329-343 pp.
- Palacios A. I. A. 2013. Zooplankton en los sistemas Acuáticos "Amate Amarillo y los Planes" en el Estado de Morelos. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 57 pp.
- Piedra A. R. 1998. Evaluación temporal y espacial del agua del lago de Tequesquitengo, para la prevención y control de su contaminación. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos 178 pp.
- Quiroz C. H., Mondragón E. O., Molina A. I., García R. J., y Díaz V. M. 2008. Dinámica espacio-temporal de oxígeno-temperatura en los Lagos Zempoala y Tonatiahua. Acta Universitaria 18 (1): 57-65 pp.
- Ramírez G. P., S. Nandini., S. S. S. Sarma., E. Robles Valderrama., I. Cuesta y María Dolores Hurtado. 2002. Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (México). Hydrobiologia 467: 99-108 pp.
- Ramírez-Pulido J. 1969. Contribución al estudio de los mamíferos del Parque Nacional "Lagunas de Zempoala", Morelos, México. Ann. Inst. Biol. UNAM. México 40 (2): 253-290 pp.
- Reid J. W. 1989 The distribution of species of the genus *Thermocyclops*. (Copepoda, Cyclopoida) in the western hemisphere, with description of *T. parvus*, new species. Hydrobiologia. 175: 149-174 pp.
- Serrano L. y Fahd K. 2005. Zooplankton communities across a hydroperiod gradient of temporary ponds in the Doñana National Park (SW Spain). Wetlands 25 (1): 101-111 pp.

- Sommer U. J., Psdiasák C. S., Reynolds y P. Juhasz-Nagy. 1993. Hutchinson's heritage: the diversity-disturbance relationship un phytoplankton. *Hydrobiología*. 249: 1-7 pp.
- SPP. 1979. Síntesis gráfica y descriptiva. Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Parques Nacionales. México, D. F.
- Steiner C. F. y A. H. Roy. 2003. Seasonal succession in fishless ponds: effects of enrichment and invertebrate predators on zooplankton community structure. *Hydrobiologia* 490: 125-134 pp.
- Steinitz-Kannan M., P. A. Colinvaux y R. Kannan. 1983. Limnological studies un Ecuador: 1. A survey of chemical and physical properties of Ecuadorian lakes. *Achiv für Hydrobiologie, Supplement* 65: 61-105 pp.
- Suárez-Morales E. 2006. Zooplancton y acuicultura. En: *Ecología de los sistemas acuícolas*. AGT Editor. S. A. Cap. 5: 95-118 pp.
- Suárez-Morales E., Elías-Gutiérrez M., Ciro-Pérez J., Silva-Briano M., Reid J. W., Gasca R. 2000. Cladóceras y Copépodos. In: *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México*. Vol. II. 1er edición. UNAM, México 676 pp.
- Suárez-Morales E., Silva-Briano M., y Elías-Gutiérrez M. 2000. Redescription and taxonomic validity of *Leptodiptomus cuauhtemoci* (Osorio-Tafall, 1941) (Copépoda, Clanoidea), with notes on its known distribution. *J. Limnol* 59(1): 5-14pp.
- Taboada, S.M. 1981. Aportación al conocimiento frutícola con enfoque etnobotánico y ecológico en el Estado de Morelos. Tesis Licenciatura Escuela de Ciencias Biológicas, UAEM, Cuernavaca, Mor.
- Thomasson K. 1956. Reflections on artic and alpine lakes *Oikos* 7: 117.143 pp.
- Trejo A. R. 2012 Variación del zooplancton en el Lago de Zempoala, Morelos, México. Facultad de Ciencias. División de Estudios de Posgrado UNAM. 171 pp.

Tricart, J. 1985. Pro-lagos, Los Lagos del Eje Neovolcánico de México. Inst. Geografía. UNAM, México. 66 pp.

Urabe J. 1989. Relative importance of temporal and spatial heterogeneity in the zooplankton community of an artificial reservoir. *Hydrobiología*, 184: 1-6 pp.

Vázquez G, Jiménez S, Favila ME, Martínez A (2005) Seasonal dynamics of the phytoplankton community and cyanobacterial dominance in a eutrophic crater lake in Los Tuxtlas, México. *Ecoscience* 12 (4): 485–493 pp.

Wallace R. L., W. T. Snell y T. Nogrady. 2006. Rotifera Biology, Ecology and Systematics. SPB. Academic Publishing. 270 pp.

Wetzel R. G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. Third Edition. Academic Press 187-204 pp.