



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Desarrollo Sustentable

Título

**Monitoreo y análisis actual del estado trófico del lago
Amatitlán, Guatemala: el zooplancton como organismos
bioindicadores**

TESIS

**Que para obtener el grado de
LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES**

**Presenta
Sarahi Jaime**

Director de Tesis

Dr. Adrián Cervantes Martínez



Cozumel, Q. Roo, julio de 2020.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Desarrollo Sustentable

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité de Tesis del programa de Licenciatura y aprobada como requisito para obtener el grado de:

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TESIS

Director: _____

Dr. Adrián Cervantes Martínez



Asesor: _____

Dra. Martha Angélica Gutiérrez Aguirre



Asesor: _____

Dr. Víctor Hugo Delgado Blas

Cozumel, Quintana Roo, México, julio de 2020

Dedicatoria

La elaboración de este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda, el compromiso ni las vinculaciones de la Universidad de Quintana Roo y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del Lago Amatitlán (AMSA) en Guatemala, ni sin mis asesores, el Dr. Adrián Cervantes Martínez y la Dra. Martha Gutiérrez Aguirre, por lo que dirijo esta dedicatoria a:

La Universidad de Quintana Roo y a mis asesores, quienes fueron elementos fundamentales para mi preparación profesional y académica, siempre motivándome a ser mejor cada día. A las nuevas generaciones de estudiantes de esta preciosa licenciatura en Manejo de Recursos Naturales, que espero que sea de utilidad en un futuro como ejemplo de proyectos de investigación.

Le dedico este trabajo a AMSA, sobre todo a los Lic. Elena Reyes y a Julio Juárez que sin los aportes de esta institución no se hubiera realizado nada, espero que esta información les sea beneficiosa para realizar una evaluación contemplando al zooplancton del Lago Amatitlán y se tomen las acciones necesarias.

A los científicos de esta línea de investigación en Guatemala, estoy segura de que la información obtenida en este trabajo les será de utilidad al momento de considerar un estudio en este lago.

A mis padres, como una muestra de todo el amor y esfuerzo dedicado a este trabajo y mi pasión por continuar en esta línea de investigación.

A las personas que les apasiona el estudio del agua y el zooplancton.

A la ciencia que nunca se detiene.

Agradecimientos

Estos agradecimientos van dedicados a cada una de las personas que fueron parte de mi formación académica, profesional y personal.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, a mi mamá Silvia y a mi papá Saúl de los que siempre recibí su apoyo incondicional y total aceptación desde el día que decidí inscribirme a la licenciatura. A mi hermano Saúl que siempre me ha apoyado traduciendo al inglés resúmenes para congresos, con mucho interés leyendo y aprendiendo sobre términos de limnología y taxonomía del zooplancton.

Quiero agradecer a mis mentores académicos Dr. Adrián Cervantes y Dra. Martha Gutiérrez Aguirre por todo el apoyo, orientación y formación para hacer que este trabajo de tesis sea de calidad y, además, gracias por la inclusión a proyectos externos a este trabajo y asignaturas impartidas. Para mí, son un ejemplo a seguir que me motiva a continuar con mi formación académica, ahora, a nivel maestría.

A la Dra. Alma Estrella García Morales por su valiosa ayuda a distancia con la taxonomía de rotíferos e información compartida y al Dr. Víctor Hugo Delgado Blas por ser parte de este comité de tesis. A AMSA y a sus integrantes Lic. Julio Juárez Pernillo y Elena Reyes Solares que sin su valiosa información esta tesis no se hubiera podido realizar.

A mis amigos más cercanos Tiffany Pérez, Dr. Fernando Mendoza, Dr. Carlos Herrera, Omar Rodríguez, Diego Quijano y Darilym Chulym, por ser parte del proceso y porque siempre han estado para mí a lo largo de estos años, por creer en mí y emocionarse cuando les platicaba de todos los logros que poco a poco he ido adquiriendo, gracias por todos los buenos momentos compartidos con cada uno de ustedes.

A mis compañeros de licenciatura Alfonso, Carolina, Germán, Darilym (otra vez), Natalia y Dariana por los buenos momentos y experiencias en clases, viajes de campo y actividades académicas; a varios colegas Oscar, Mariana, Armando, Gina, los Fraustos, con quienes de igual manera tuve buenas experiencias; a mi compañero de laboratorio Gerardo Hernández (Chempita) gracias por tu ayuda con conceptos que me daban trabajo entender, por ser excelente compañero y amigo.

A todos los profesores que me impartieron asignaturas de esta licenciatura que siempre han ofrecido lo mejor de sus conocimientos y recursos para la formación profesional.

Al Laboratorio de Limnología y Ecología Tropical por permitirme las instalaciones para trabajar en este proyecto de tesis, en otros proyectos y por permitirme aprender y formarme con todos los conocimientos adquiridos.

Special thanks to my last and the best boss I ever had Glenda Meade, who sincerely understood that I'm a full-time student and give me the opportunity to be part of her team in Maple Leaf Scuba Dive Shop.

No me caben las palabras, las hojas ni las personas para describir toda la gratitud que tengo. A todos, muchas gracias por tanto amor.

"Gracias a la vida, que me ha dado tanto"
Violeta Parra - 1966

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	8
JUSTIFICACIÓN	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
OBJETIVOS	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos.....	13
ÁREA DE ESTUDIO.....	14
Geología.....	14
Relieve	15
Clima	15
Hidrología.....	16
Vegetación	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Variables biológicas.....	17
Variables fisicoquímicas	19
RESULTADOS	20
Riqueza específica del zooplancton	20
Descripción de nuevos registros de especies zooplancton.....	23
Familia Epiphanidae Haring, 1913.....	23
Familia Brachionidae Ehrenberg, 1838	25
Familia Trichocercidae Haring, 1913	29
Familia Asplanchnidae Eckstein, 1883.....	31
Bdelloidea	32
Orden Calanoida.....	33
Abundancia del zooplancton.....	40
Análisis de los parámetros físicoquímicos	44
Temperatura del agua	44
Oxígeno Disuelto (O₂).....	49
pH	53
Conductividad.....	55
Salinidad	58
Sólidos Totales Disueltos	58
DISCUSIÓN	61

Riqueza específica	61
Abundancia específica	66
Cuadro ambiental	69
Análisis del estado trófico del Lago Amatitlán.....	70
CONCLUSIONES	71
LITERATURA CITADA.....	73
ANEXOS	81
Anexo 1	81
Anexo 2.....	81
Anexo 3.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Morfología general de Rotifera.....	5
Fig. 2 Morfología general de Cladocera	6
Fig. 3 Morfología general de Copepoda	7
Fig. 4 Mapa del Lago Amatitlán.....	18
Fig. 5 <i>Epiphanes macroura</i>	24
Fig. 6 <i>Anuraeopsis fissa</i>	26
Fig. 7 <i>Brachionus havanaensis</i>	27
Fig. 8 <i>Keratella americana</i>	28
Fig. 9 <i>Trichocerca cf. longiseta</i>	29
Fig. 10 <i>Trichocerca pusilla</i>	30
Fig. 11 <i>Asplanchna sieboldi</i>	31
Fig. 12 Bdelloidea	32
Fig. 13 <i>Arctodiaptomus dorsalis</i> hembra	35
Fig. 14 <i>Arctodiaptomus dorsalis</i> macho	35
Fig. 15 <i>Thermocyclops crassus</i>	37
Fig. 16 <i>Mesocyclops thermocyclopoides</i>	39
Fig. 17 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Oeste Centro.	41
Fig. 18 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Este Centro.....	41
Fig. 19 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Michatoya.	42
Fig. 20 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Bahía Playa de Oro.	42
Fig. 21 Especies más abundantes del Lago Amatitlán en los 4 sitios de estudio	43
Fig. 22 Promedio de temperatura en los años 2016 y 2017	45
Fig. 23 Perfil vertical de temperatura en el año 2016.	47
Fig. 24 Perfil vertical de temperatura en el año 2017	48
Fig. 25 Promedio de concentración de O ₂ en los años 2016 y 2017	50
Fig. 26 Perfil vertical de concentración de oxígeno en mg/L en el año 2016.	51
Fig. 27 Perfil vertical de concentración de oxígeno en mg/L en el año 2017.	52
Fig. 28 Promedio de pH en los años 2016 y 2017	54
Fig. 29 Perfil vertical de conductividad en el año 2016.....	56
Fig. 30 Perfil vertical de conductividad en el año 2017.....	57
Fig. 31 Perfil vertical de sólidos totales disueltos en el año 2016.	59
Fig. 32 Perfil vertical de sólidos totales disueltos en el año 2017.	60

Fig. 33 Rotíferos identificados en el lago. A) <i>Brachionus angularis</i> , B) <i>B. calyciflorus</i> , C) mástax de <i>B. calyciflorus</i> , D) <i>Filinia longiseta</i>	81
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de muestreo en el Lago Amatitlán.....	17
Tabla 2. Riqueza específica general	20
Tabla 3 Abundancia del zooplancton de los 4 sitios de estudio en junio de 2017	81
Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos en Este Centro.....	82
Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos en Oeste Centro	82
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos en Michatoya	82
Tabla 7 Parámetros fisicoquímicos en Bahía Playa de Oro.....	82

RESUMEN

El Lago Amatitlán es uno de los lagos más emblemáticos de Guatemala, su estado de eutrofización requiere ser estudiado contemplando a organismos indicadores del estado trófico del agua. El estudio del zooplancton tiene una importancia ecológica, ya que funciona como bioindicador de los sistemas acuáticos en aguas marinas y continentales, por su sensibilidad a estresores ambientales. En este trabajo se realizó el estudio de los organismos pertenecientes a los tres principales grupos del zooplancton en sistemas epicontinentales (rotíferos, cladóceros y copépodos). Actualmente, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA), fundada en 1996, tiene como finalidad rehabilitar el ecosistema de la Cuenca y del Lago Amatitlán, con diferentes planes de manejo, pese a los esfuerzos realizados, la eutrofización del lago continúa. Se realizaron 2 campañas de muestreo, uno en la temporada de secas (noviembre de 2016) y otra en la de lluvias (junio de 2017). Las muestras fueron colectadas en 4 sitios estratégicos llamados Este Centro (EC), Oeste Centro (OC), Bahía Playa de Oro (BPO) y Michatoya (MICH). Se realizaron arrastres verticales y horizontales filtrando un volumen conocido de agua, utilizando una red de zooplancton con apertura de 45 μm y una botella de Van Dorn con capacidad de 2.5 L. Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo de los organismos y se identificaron hasta el mínimo taxón posible. Se midieron los parámetros fisicoquímicos como la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Sólidos Totales Disueltos (STD) en mg/L , concentración (mg/L) y saturación (%) de oxígeno disuelto (O_2). Dichos datos fueron proporcionados por AMSA para los años 2016 y 2017. El análisis de riqueza y abundancia del zooplancton fue realizado en el Laboratorio de Limnología y Ecología Tropical (LLET) de la Universidad de Quintana Roo (UQROO), Unidad Cozumel. El cuadro ambiental es característico de lagos tropicales de alta montaña, con índices de eutrofización (temperatura de 22-28 $^{\circ}\text{C}$, concentración de O_2 hasta 18 mg/L y anoxia en el mesolimnión, pH básico entre 8 y 9 y STD aproximadamente de 400 mg/L). Los rotíferos fueron el grupo más dominante (2,613 Ind/L), distribuidos en 141.10, 647.50, 623.78 y 678 Ind/L en EC, OC, PBO y MICH respectivamente, las especies más abundantes fueron *Brachionus havanaensis* Rousselet 1911 (436.96 Ind/L), y *Keratella americana* Carlin, 1943 (1,227.96 Ind/L). También tuvieron la mayor riqueza específica, con un total de 12 especies. Sólo se encontró la presencia de un ejemplar de *ceriodaphnia* en la temporada de lluvias y los copépodos estuvieron representados por el calanoide *Arctodiaptomus dorsalis* (Marsh, 1907) y cyclopoides exóticos como *Thermocyclops*

crassus (Fischer, 1851) y *Mesocyclops thermocycloides* Harada, 1931. No se registró en este estudio la presencia del copépodo endémico *Mastigodiptomus amatitlanensis* (Wilson, 1941). Es la primera vez que se registran especies exóticas en este sitio de estudio. Reforzar los estudios del zooplancton permitirá sentar las bases para utilizar especies nativas como en los lagos tropicales, en donde aún, el conocimiento se considera incipiente, incluyendo el Lago Amatitlán.

Palabras clave: bioindicador, estado trófico, eutrofización, parámetros fisicoquímicos, zooplancton.

INTRODUCCIÓN

Un lago es caracterizado por encontrarse en la región continental, por su tamaño, profundidad, estado trófico, morfometría, batimetría, entre otros factores que ser diferenciados con los cuerpos de agua oceánicos (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008).

En cuanto a variables relacionadas al estado trófico del agua, la abundancia de especies fitoplanctónicas permite conocer la distribución y productividad de estas en el sistema acuático (Vila y Mühlhauser, 1987) pudiendo ser reguladas por factores abióticos como la radiación solar disponible, temperatura, concentración de nitratos, entre otros factores. Esto es posible debido a que una de las características principales de los lagos son los cambios ambientales muy variables (Cervantes-Martínez, 2005).

El estado trófico de un lago es el determinante de la salud ambiental en la que se encuentra, y se obtiene por diversos factores como el ecosistema acuático, la físico-química y la biota perteneciente al lago y con esto, se puede obtener la varianza de las abundancias de grupos de organismos. Una de las variables químicas con las que se puede obtener información del estado trófico del agua es el pH, ya que está muy relacionado con la fotosíntesis producida por las algas y fitoplancton en el sistema (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008).

La eutrofización es un proceso en el que el cuerpo de agua llega a un estado biofísicoquímico alterado ocasionado por la sobrecarga de nutrientes (como el nitrógeno, materia orgánica suspendida y fósforo) lo que aumenta la concentración de fitoplancton y algas de productividad primaria (Anónimo, 2015). En condiciones oligotróficas, el fósforo es encontrado en los sedimentos y suspendidos en el agua en forma de ortofosfatos, ya sea combinada o compuesta, y el nitrógeno en todo el cuerpo de agua degradado y distribuido homogéneamente, estos elementos son aprovechados por las plantas y algas. Por el contrario, en condiciones eutróficas la concentración de nitrógeno y fósforo no son interrumpidas; es decir, se incrementa constantemente, el ecosistema acuático resulta ser alterado por el exceso de estos elementos y comienza a tener manifestaciones como el aumento de fitoplancton, algas y la aparición del mal olor en el agua (Bastarrachea-Díaz, 1997).

Existen ciertas características para diferenciar a un lago eutrófico de un lago oligotrófico; por ejemplo, un lago eutrofizado se caracteriza por la turbidez en el agua, alta cantidad de biomasa lo que crea una mezcla heterogénea de nutrientes y la ausencia de organismos macrófitos. Por el contrario, un lago oligotrófico presenta alta transparencia, poca biomasa dispersa y abundancia de macrófitos en el fondo (Conde-Porcuna, *et al.*, 2004; Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008).

En condiciones óptimas los cuerpos de agua oligotróficos usualmente se caracterizan por tener la zona limnética por ser profunda y de aguas abiertas, con comunidades zooplanctónicas y de macroinvertebrados que están asociados a las concentraciones de alimento y oxígeno, estos organismos dependen de la entrada de la luz solar por la zona litoral, que comprende la superficie del lago con vegetación en los extremos. Sin embargo, en condiciones de eutrofización, la zona litoral no permite el paso óptimo de la luz solar debido a la obstrucción por productores primarios en la superficie del lago (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008).

En estos ambientes también podemos encontrar comunidades de microinvertebrados como el zooplancton. Está constituido por tres grupos principales: los rotíferos, los cladóceros y los copépodos.

Los rotíferos pertenecen al Phylum Rotifera, es el grupo de zooplancton que pertenece a los metazoos y se agrupa en dos grandes clases diferenciadas por su reproducción sexual. La subclase Monogononta es la más abundante, se organizan en 3 órdenes: Ploima, Flosculariacea y Collothecacea, comprendidos de 23 familias y 113 géneros con un aproximado de 2,000 especies registradas hasta el momento. Pueden reproducirse de manera sexual (míctica) o de manera asexual (amíctica), los machos se caracterizan por ser reducidos en tamaño comparado con las hembras. Pueden estar lorizados o ilorizados. (Ruppert y Barnes, 1996; Fortaneto y De Smet, 2015). La subclase Bdelloidea se caracteriza por que su reproducción es completamente asexual. Son organismos usualmente ilorizados y tienen mástax de forma ramada. La cantidad de dedos puede ser de 2 a 4, está comprendido por 4 familias en 3 órdenes, con un total de 19 géneros y 460 especies registradas hasta el momento (Ruppert y Barnes, 1996; Segers, 2008; Fortaneto y De Smet, 2015).

Sládecek (1983), menciona que en los sistemas contaminados y eutrofizados suelen tener 23,900 individuos de rotíferos por litro. Generalmente, los rotíferos se alimentan de bacterias, algas pequeñas, flagelados y detritos, pero en sistemas eutrofizados, la alimentación dominante son las partículas de sólidos suspendidos en descomposición junto con las bacterias.

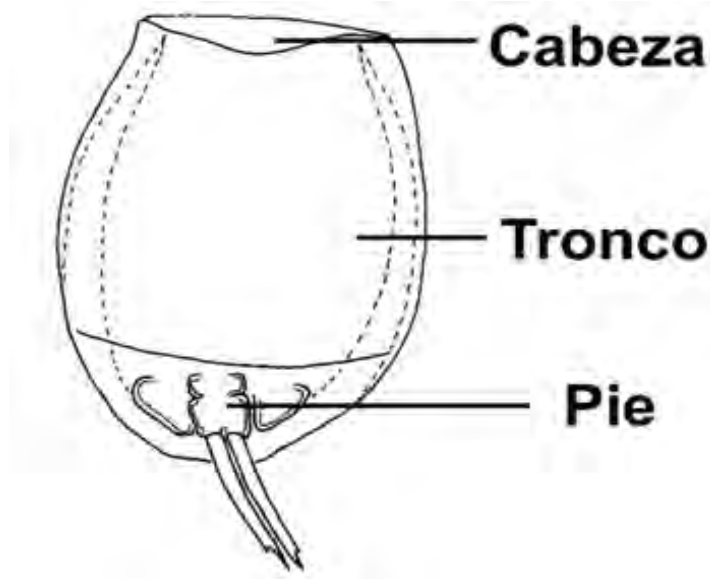


Fig. 1 Morfología general de Rotifera. (tomado de Cervantes-Martínez, et al. 2012).

Los cladóceros al igual que los copépodos, son microcrustáceos. Los cladóceros pertenecen al Superorden Cladocera, subfilo de los crustáceos por sus apéndices de tipo birrámeo y dobles ramificaciones (ver Fig. 2). Este grupo se encuentra principalmente en aguas continentales, sin embargo, existen varios registros de especies pertenecientes en aguas marinas, aunque de manera secundaria. Entre las características de los cladóceros esta su reproducción por partenogénesis. Es un tipo de reproducción asexual en el cual la hembra da origen a más hembras, por estímulos ambientales puede darse la presencia de machos por medio de los huevos que no fueron fecundados de las hembras denominados haploides. La morfología principal de este grupo presenta tagmas poco claras, aunque se pueden diferenciar dos: la cabeza cuya constitución cuenta con anténulas, antenas birrámeas, mandíbula, maxílulas y

maxila y el tórax que presenta apéndices torácicos que su número es variable entre diferentes órdenes. Las ordenes que representan a este grupo son: anomopoda, ctenopoda, haplopoda y onychopoda (Elías-Gutiérrez, *et al.*, 2008; Cervantes-Martínez, *et al.*, 2012). Para los objetivos de este documento, el estudio de estos organismos es importante a lo largo de la historia por medio del sedimento, ya que el exoesqueleto permite que se mantengan conservados, y se puede encontrar relación con la eutrofización al estudiar los cambios en la estructura de las comunidades de estos organismos.

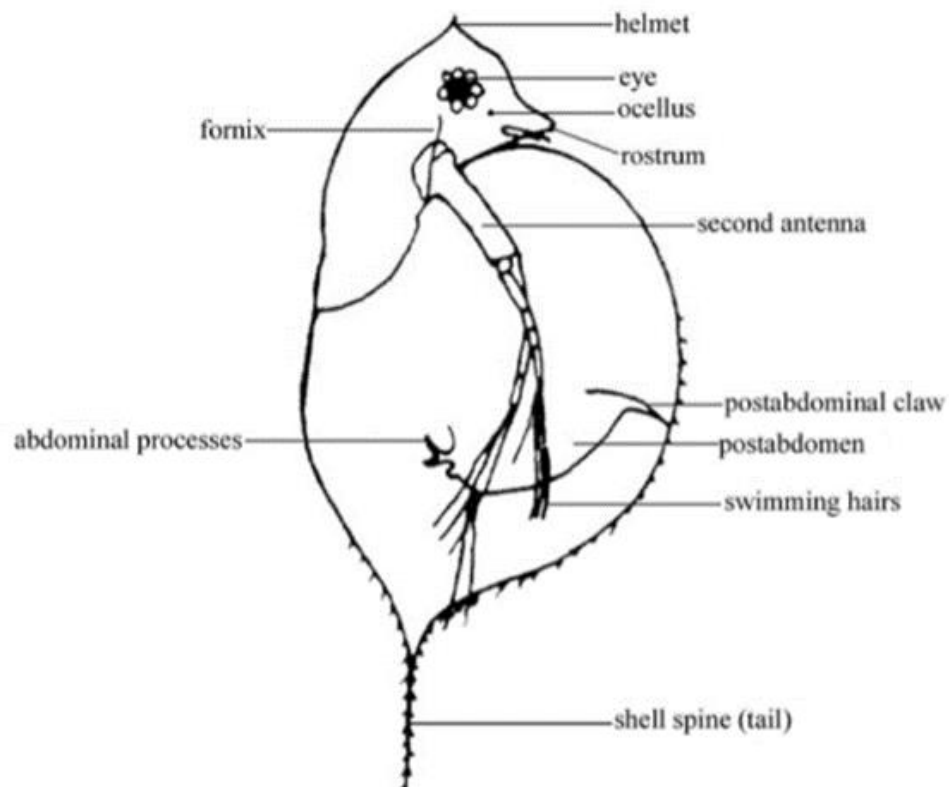


Fig. 2 Morfología general de Cladocera (tomado de Witty, 2004).

Los copépodos pertenecen a la subclase Copepoda, de igual manera forman parte del subfilo de los crustáceos, siendo esta una de los más diversos del subfilo con aproximadamente 11,500 especies marinas, de los cuales los grupos que han logrado colonizar exitosamente las aguas continentales estos son: Calanoida, Cyclopoida y

Harpacticoida (Elías-Gutiérrez, *et al.*, 2008). Entre las importancias ecológicas que puede ser aplicado, están sus ciclos de vida y reproductivos que se ven alteradas por cuestiones ambientales abióticas, por parámetros fisicoquímicos como el pH, salinidad, temperatura, entre otros (De los Rios-Escalante y Carreño, 2012). Los copépodos también son estudiados como bioindicadores de las condiciones de las biotas, pues el estudio de la abundancia ayuda al análisis de la presencia-ausencia o alteración de las especies ayuda a la determinación de las perturbaciones del ambiente en el sistema acuático (Elías-Gutiérrez, *et al.*, 2008).

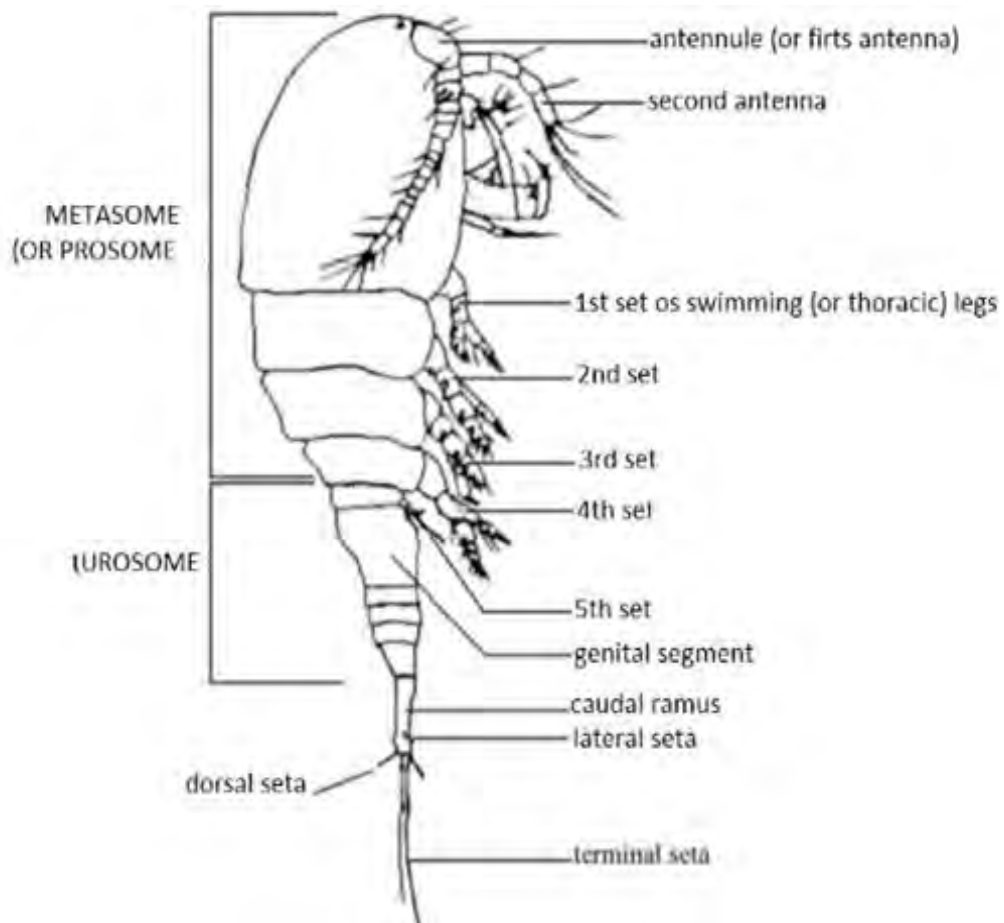


Fig. 3 Morfología general de Copepoda (tomado de Witty, 2004).

ANTECEDENTES

Los cuerpos de agua continentales abarcan aproximadamente 1.8% de la superficie terrestre de los cuales, los lagos pequeños son más numerosos que los de mayor tamaño, cada uno con variaciones en los factores bióticos y abióticos. La mayor cantidad de estos cuerpos de agua está localizada principalmente en latitudes templadas, un ejemplo de ello es el lago Baikal ubicado en Siberia, con una antigüedad de más de 25 millones de años, es uno de los lagos más profundos debido a la erosión a lo largo del tiempo (Balasubramanian, 2015).

Casallas y Gunkel (2001) menciona que el estudio de los lagos tropicales no ha sido tan frecuente como en el caso de los lagos templados pese a su diversa importancia que estos tienen en las zonas en las que se ubican. Lewis (1996) explica que la estabilidad de temperatura relativa de los lagos tropicales tiene como consecuencia comunidades planctónicas constantes. Entre los cuerpos de agua tropicales más conocidos es el lago Titicaca, localizado entre la frontera de Perú y Bolivia, que al ser localizado en montañas se encuentra en una altitud entre 2000 y 4000 m.s.n.m (Casallas y Gunkel, 2001).

El Lago Amatitlán entra en la clasificación de cuerpos de agua tropicales por las latitudes a las que esta pertenece y su origen es de formación volcánica, por lo que su altitud está a 1.186 m.s.n.m. la importancia ecológica de este lago es debido al nivel de eutrofización que éste tiene y el impacto ambiental que ha ocasionado a la biodiversidad del ecosistema (Bastarrachea-Díaz, 1997).

Richardson-Varas, *et al.* (2015) mencionan que desde hace un par de siglos se trasladó la capital del país a su ubicación actual, al sur de Guatemala, esto originó una gran explosión demográfica y con ello, a una mala organización y utilización de los recursos disponibles, como la construcción del relleno para el paso de ferrocarril unos años más tarde, como consecuencia el Lago Amatitlán quedó dividido en dos lagunas que limita la distribución y flujo del agua.

Bastarrachea-Díaz (1983) menciona que las observaciones realizadas sobre la eutrofización del Lago Amatitlán fueron detectadas principalmente por las actividades turísticas que se realizaban ahí desde hace casi seis décadas. De igual manera

menciona que son varios los factores que aceleraron los procesos de eutrofización del lago como: el crecimiento de la población, la utilización del agua para riego agrícola, la utilización del lago como embalse regulador de energía y las instalaciones ubicadas alrededor de este sistema acuático.

Anónimo (2015), menciona que desde hace más de 40 años se conoce sobre el estado del lago, que cada vez aumenta de manera drástica, en los años ochenta, distintas instituciones y universidades de diferentes países como Francia, Alemania y México; hicieron investigaciones demostrando la gravedad del lago, con el intento de un plan de manejo. Estas instituciones y universidades en conjunto con Guatemala empezaron a tomar en cuenta medidas de control del agua, sin embargo, no tenía tanto poder adquisitivo para realizar proyectos, es así como en 1996 surge la Autoridad del Manejo Sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán (AMSA) con el objetivo de restaurar el lago.

Bastarrachea-Díaz (1997), en su libro “el lago de Amatitlán: década de estudios limnológicos 1985-1995” explica las características físicas, químicas y biológicas pertenecientes al lago como el oxígeno disuelto que explica que el río Villalobos tenía una media de 4.0 mg/L de oxígeno a causa de la demanda de esta por las aguas residuales, los sólidos disueltos en el lago presentaron en promedio 610 mg/L tanto en la superficie como en la parte profunda del lago.

En cuanto al estudio del zooplancton, Bastarrachea-Díaz (1997), realizó estudios sobre la migración vertical y horizontal, encontrando que la abundancia del zooplancton era mayor en la noche que en el día. El patrón de migración vertical se vio mejor definido en el grupo de copépodos cyclopoides, mientras que los copépodos calanoides presentaron un comportamiento indefinido. Concluyendo que la causa podría haber sido la transparencia casi nula del lago y la penetración de la luz solar. Desde estos trabajos, se observa ya una señal de alerta en cuanto a las comunidades del zooplancton en el Lago Amatitlán.

Brandorff (2012), menciona que hace aproximadamente 100 años se hicieron las primeras descripciones de copépodos en el lago, con enfoque al grupo de calanoide en el cual se encontraron las especies *Mastigodiptomus albuquerquensis* (Herrick, 1895) y *M. amatitlanensis* (Wilson, 1941) siendo esta última, una especie endémica.

En ese mismo estudio, realizó nuevamente muestreos encontrando a otra especie de calanoide: *Arctodiaptomus dorsalis* (Marsh, 1907) encontrando solamente a 4 ejemplares.

Para saber si el estado de eutrofización del lago tiene una relación con la ausencia o presencia de especies, es necesario realizar estudios temporales (diferentes temporadas climáticas) y especialmente columnas de agua para llegar a una conclusión ya que, son diversos los factores que pudieran ser las causas de la ausencia o presencia de las especies presentes ahí, como las características físicas y químicas del agua, alimento suficiente o depredación.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo determinar la abundancia, riqueza de especies y distribución del zooplancton del Lago Amatitlán, como bioindicadores y de esta manera, poder analizarlos y llegar a una conclusión que ayude a la toma de decisiones respecto al manejo y control ambiental de este sistema.

JUSTIFICACIÓN

El estudio de los lagos es de importancia debido a que además de ser una fuente natural de agua, son reguladores ambientales, son ecosistemas en donde interactúa una gran cantidad de biodiversidad que permite la regulación del propio sistema acuático y, al tener una variada diversidad de organismos presentes en el lago, pueden ser fuente de actividades económicas, recreativas o alimenticias. Sin embargo, las actividades humanas y una mala planeación de estos recursos incrementan la carga de nutrientes afectando de manera negativa al proceso natural de este, creando así una problemática ambiental que ha incrementado a lo largo de los años.

Es así que, la diversidad de zooplancton presentes en un lago ayuda a regular el sistema acuático debido a las cadenas tróficas, que comienzan con la alimentación de los organismos de tallas pequeñas como los rotíferos, consumiendo fitoplancton y materia orgánica suspendida disponibles, que posteriormente otros organismos de mayor tamaño se alimentaran de ellos, como cladóceros, copépodos, larvas de peces y así sucesivamente; es por ello que el estudio de estos organismos tiene como importancia la determinación del estado de salud de los lagos, conociendo variables ecológicas como la abundancia y la riqueza de organismos pertenecientes al zooplancton, porque cada grupo, presenta funciones y características diferentes.

De igual manera, los factores abióticos del sistema lago son fundamentales para el estudio del estado trófico ya que, con estas variables como el pH o los sólidos totales disueltos en el agua, son determinantes para comprender la interacción que el zooplancton tiene ante estos cambios en los factores abióticos.

La eutrofización en el Lago Amatitlán representa un punto rojo a nivel ecológico debido a la pérdida de la biodiversidad de este, como podría ser el caso de la especie de copépodo *M. amatitlanensis* que, de ser una especie en peligro de extinción pudiera considerarse ahora como extinta, debido a que no ha sido reportado desde su descripción por Wilson en el año 1941, lo cual refleja el daño por eutrofización que ha tenido este sistema acuático.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es el estado trófico actual del Lago Amatitlán?

¿El estado trófico determina la estructura de las comunidades de zooplancton del lago?

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Determinar el estado trófico actual del Lago Amatitlán por medio variables biológicas y fisicoquímicas.

Objetivos específicos:

- Determinar la riqueza específica (rotíferos, cladóceros y copépodos) presentes en el Lago Amatitlán.
- Evaluar y obtener la abundancia y riqueza de los grupos de zooplancton del sitio de estudio.
- Analizar los datos fisicoquímicos de pH, Temperatura (°C), Conductividad ($\mu\text{S/cm}$), salinidad (ppt), sólidos totales disueltos (mg/L) y oxígeno (concentración mg/L y saturación %) proporcionados por AMSA.
- Determinar el cuadro ambiental del Lago Amatitlán a partir de las variables fisicoquímicas.

ÁREA DE ESTUDIO

El Lago Amatitlán está ubicado aproximadamente a 28 km en el Sur de la capital de Guatemala, que es el departamento con el mismo nombre, este a su vez, se encuentra en el centro-sur del país.

El lago cubre un área de 15 km² y es uno de los más poblados de Centroamérica, al estar dentro del mismo polígono de la capital; el lago tiene dos zonas principales denominados “Lago Este” y “Lago Oeste” de las cuales, la máxima profundidad es de 24 m y 31 m respectivamente. El lago oeste está más expuesta a factores que propicien la elevación del estado de eutrofización debido a la cercanía con la población (Ellenberg, 2014).

Geología:

Guatemala tiene dos zonas de suelos de origen volcánico y de sedimentos, además de una sección de suelo de origen kárstico. El suelo de origen volcánico es producto de las fisuras de las placas tectónicas divididas en dos grandes bloques tectónicos, llamados Bloque Chortís y Bloque Maya respectivamente (Chiquín y Requena, 2001; Anónimo, 2008). A su vez, está controlada por la interacción de varias placas tectónicas: Norte América, Caribe y Cocos, sin embargo, la placa que comparte Guatemala esta al noroeste de la Placa Caribe (Chiquín y Requena, 2001).

El lago presenta indicios de su existencia desde hace 1 millón de años atrás, en la era geológica del Pleistoceno inferior en el periodo Cuaternario. Su formación es debido a una caldera de colapso por los volcanes Pacaya, Fuego y Agua, y posteriormente se fue llenando en condiciones naturales por agua (Bastarrachea-Díaz, 1983; Richardson-Varas, *et al.*, 2015).

Relieve:

Presenta una elevación de 1,186 m.s.n.m, en una zona de altiplano de tierras altas volcánicas (Ellenberg, 2014; anónimo, 2015).

Está ubicada en zonas montañosas de colinas de cima aguda y colinas bajas de cima redonda. El relieve está limitado por una cadena de conos volcánicos cuaternarios que se ubican al sur de Guatemala. La elevación máxima del terreno del Lago Amatitlán es de 2,300 m.s.n.m. La excesiva deposición de materia orgánica en los ríos causa que las terrazas del sur estén inclinadas y en descenso, casi al nivel de los ríos, mientras que, la parte norte, las terrazas forman grandes barrancos de taludes semi verticales, sin embargo, muy propensos a la erosión (anónimo, 2015).

Clima:

La altitud y el relieve es lo que le permite a Guatemala ser un territorio variado de climas que son definidos por la temperatura, precipitación, evapotranspiración y aridez (Franco-Rossal, 2015).

Está ubicado en la franja de climas cálidos, con temperaturas elevadas y clima tropical con dos estaciones marcadas, con una temporada de lluvias desde mayo a octubre y otra de secas de noviembre hasta abril (Ellenberg, 2014; Franco-Rossal, 2015).

Temperatura: este valor está muy relacionado a la elevación del área, tiene sus temperaturas más altas (que es una temperatura media) de 23°C a 28°C, está presente en tierras con una elevación baja, la parte central presenta una temperatura entre 16°C a 18°C y por ultimo las zonas más altas como conos volcánicos, la temperatura puede llegar a ser de 8°C.

Precipitación: la distribución está influenciada por laderas y, anualmente el promedio de lluvia es de aproximadamente 4,800 mm, en donde los meses más fuertes de lluvias es en los meses de junio y septiembre.

Evapotranspiración: se mide como el total de agua evaporada en el suelo y la transpiración de los vegetales, donde los valores más bajos está presente en las zonas montañosas.

Hidrología:

El agua que recibe el lago es por las lluvias y las que son arrastradas por el Río Villalobos, que arrastra aguas de la parte sur de la ciudad directo al lago, para finalmente drenarlas por el Río Michatoya que conduce el agua hasta el Océano Pacífico (Anónimo, 2015).

Vegetación:

Tiene dos tipos de vegetación o zonas de vida. La primera que es la más dominante cubriendo el 87% de la superficie, esta es bosque húmedo subtropical templado cubriendo las zonas Norte y Sur del lago. La segunda cubre el 13% de la superficie y es bosque húmedo montano, en las zonas Noreste y Noroeste (Anónimo, 2008; Anónimo, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables biológicas

Se trabajó con material biológico recolectado en dos fechas: en temporada de secas (25 de noviembre de 2016) y en temporada de lluvias (5 de junio de 2017) en el Lago Amatitlán, Guatemala. Se hicieron arrastres verticales, horizontales, con la ayuda de una red de zooplancton de apertura de malla de 45 μm . Se filtró un volumen conocido de agua con una botella de Van Dorn con capacidad de 2.5 litros para conocer la abundancia de los organismos (Cervantes-Martínez, 2005). Se obtuvo un total de 12 muestras comprendidas en 8 muestras cualitativas y 4 muestras cuantitativas (para análisis de riqueza y abundancia). En la Tabla 1 se encuentra estructurado los datos de colecta de cada sitio de muestreo y en la Fig. 4, se puede observar la distribución del muestreo.

Tabla 1. Datos de muestreo en el Lago Amatitlán. A: análisis de riqueza (muestras cualitativas), B: análisis de abundancia (muestras cuantitativas).

Tabla A: Muestras cualitativas				Tabla B: Muestras cuantitativas			
Fecha	Lugar	Coordenadas	Técnica	Fecha	Lugar	Coordenadas	Litros filtrados
25/11/2016	Este Centro	14°25'52.5"N 90°32'28.2"O	Arrastre Vertical	05/06/2017	Este Centro	14°25'52.5"N 90°32'28.2"O	30 Litros
25/11/2016	Este Centro	14°25'52.5"N 90°32'28.2"O	Arrastre Horizontal	05/06/2017	Oeste Centro	14°28'34.6"N 90°35'16.0"O	20 Litros
25/11/2016	Oeste Centro	14°28'34.6"N 90°35'16.0"O	Arrastre Vertical	05/06/2017	Michatoya	14°29'12.3"N 90°36'42.14"O	10 Litros
05/06/2017	Este Centro	14°25'52.5"N 90°32'28.2"O	Arrastre Vertical	05/06/2017	Bahía Playa de Oro	14°29'11.5"N 90°34'11.9"O	6 Litros
06/06/2017	Este Centro	14°25'52.5"N 90°32'28.2"O	Arrastre Horizontal				
05/06/2017	Oeste Centro	14°28'34.6"N 90°35'16.0"O	Arrastre Vertical				
05/06/2017	Oeste Centro	14°28'34.6"N 90°35'16.0"O	Arrastre Horizontal				
05/06/2017	Michatoya	14°29'12.3"N 90°36'42.14"O	Arrastre Vertical				

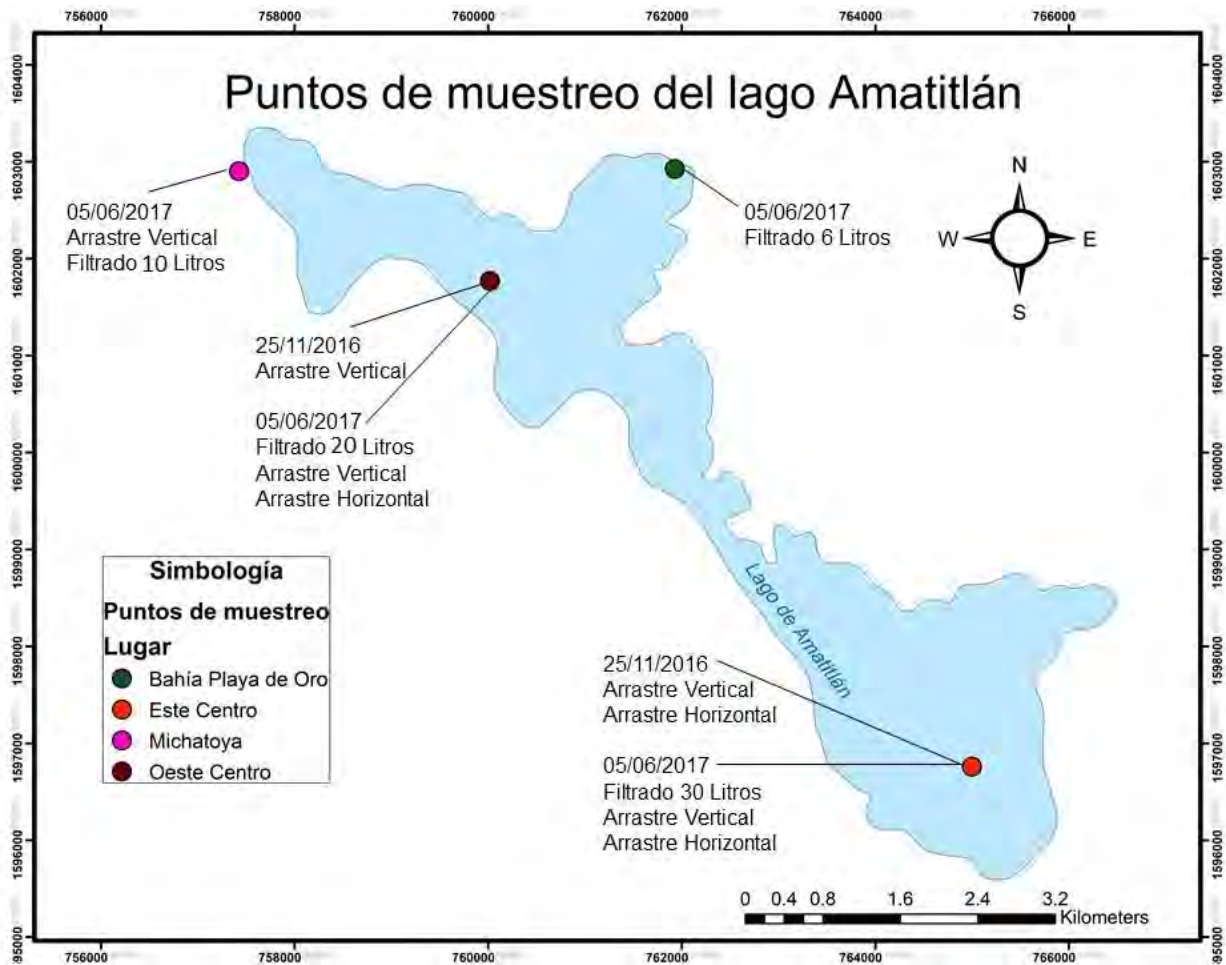


Fig. 4 Mapa del Lago Amatitlán

Separación e identificación del zooplancton

Las muestras biológicas fueron aisladas y contabilizadas en tres principales grupos de zooplancton (rotíferos, cladóceros y copépodos), utilizando un microscopio estereoscópico marca Nikon Modelo L-PS. El grupo de los copépodos fueron contabilizados todos los estadios: nauplios, juveniles, adultos, hembras y machos. Para el grupo de los rotíferos y cladóceros fue tomada en cuenta la riqueza y abundancia específica.

Las especies de zooplancton se identificaron hasta el mínimo taxón posible, por medio de claves dicotómicas especializadas. Para el caso de los cladóceros y copépodos se utilizaron las claves de Elías-Gutiérrez, *et al.* (2008). Para el grupo de los rotíferos, se utilizó bibliografía especializada como los trabajos de García-Morales y Elías-Gutiérrez (2004 y 2007) y Segers (2012), para la estructura de la información y para la identificación de rotíferos, se citó a Koste (1978) y Fortaneto y De Smet (2015).

En el caso de los copépodos, se realizaron microdisecciones separando las apendices o estructuras con importancia taxonómica con la ayuda de un microscopio estereoscópico y óptico marca Olympus, modelo CX21.

Para los rotíferos se realizó la extracción del mástax el cual tiene valor taxonómico para ambos grupos (Monogononta y Bdelloidea) con la ayuda de un microscopio óptico.

Variables fisicoquímicas

Para este estudio se midieron las siguientes variables ambientales: temperatura (°C), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Sólidos Totales Disueltos (STD) en mg/L, concentración (mg/L) y saturación (%) de oxígeno disuelto (O_2), utilizando un conductímetro de profundidad marca WTW, modelo: Oxi 197i. De igual manera, se tomaron las variables de pH y salinidad (ppt) con un potenciómetro portátil marca HACH modelo: HQ30.

Los datos de estas variables fueron proporcionados por Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán (AMSA), las cuales fueron de utilidad para interpretar y monitorear el estado trófico del sistema de estudio.

RESULTADOS

Riqueza específica del zooplancton

En el análisis taxonómico del sistema de estudio, arrojó la presencia de 15 especies comprendidas en 11 géneros, 8 familias y 5 órdenes. La mayor riqueza la presentó el grupo de los rotíferos con un total de 12 especies, seguida de los copépodos con tres especies *A. dorsalis*, *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) y *Mesocyclops thermocyclopides* Harada, 1931. Para el caso del grupo de los cladóceros, solo se registró a un ejemplar del género *Ceriodaphnia* spp.

En la Tabla 2 se presentan las especies registradas por diversos autores en el Lago Amatitlán en los años 1910, 1941, 1988, 2012, se incluyen los registros obtenidos en este trabajo del período de estudio (2016 y 2017).

Tabla 2. Riqueza específica general: 1 al 4= 1) Este Centro, 2) Oeste Centro, 3) Bahía Playa de Oro y 4) Michatoya, especies encontradas en el muestreo del 25 de noviembre de 2016 y 5 de junio de 2017. 5= Copépodo calanoide (*A. dorsalis*) reportado por Brandorff (2012). 6= Especies identificadas el 14 de junio de 1988 por Bastarrachea-Díaz (1997). 7= Copépodo calanoide (*M. amatitlanensis*) descrito por primera vez por Wilson (1941). 8=Especies reportadas en febrero de 1910 de muestras recolectadas por Juday (1915) y *M. albuquerqueensis* reportada por Brandorff (2012). Presencia (x), ausencia (-), antecedentes (+), nuevos registros (*), especies no determinadas a nivel especie (?), especie posiblemente extinta (†).

Especies	1	2	3	4	5	6	7	8
Phylum: Rotifera								
Clase: Monogononta								
Orden: Ploimida								
Familia: Epiphanidae Haring, 1913								
<i>Epiphanes macroura</i> Barrois y Daday, 1894 *	x	x	-	-	-	-	-	-
Familia: Brachionidae Ehrenberg, 1838								
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851) *	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851) *	x	x	x	x	-	-	-	-
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766 *	x	x	x	x	-	-	-	-
<i>Brachionus plicatilis</i> Müller, 1786 *	x	-	-	x	-	-	-	-
<i>Brachionus havanaensis</i> Rousselet, 1911 *	x	x	x	x	-	-	-	-
<i>Keratella</i> spp Bory de St. Vincent, 1822?	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943 *	x	x	x	x	-	-	-	-
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	-	-	-	-	+
Familia: Trichocercidae Haring, 1913								
<i>Trichocerca</i> cf. <i>longiseta</i> (Schrank, 1802) *	-	x	x	x	-	-	-	-

<i>Trichocerca pusilla</i> (Lauterborn, 1898) *	-	X	X	X	-	-	-	-
Familia Asplanchnidae Eckstein, 1883								
<i>Asplanchna sieboldi</i> (Leydig, 1854) *	X	X	X	-	-	-	-	-
Orden: Flosculariaceae								
Familia: Trochosphaeridae								
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	X	X	X	X	-	-	-	+
<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886) *	X	X	X	-	-	-	-	-
Subclase: Bdelloidea								
Bdelloidea Hudson, 1884 *?	X	-	-	-	-	-	-	-
Superclase: Crustacea								
Clase: Branchiopoda								
Superorden: Cladocera								
Orden: Anomopoda								
Familia: Daphniidae Straus, 1820								
<i>Daphnia</i> spp. O. F. Müller, 1785 ?	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Daphnia hyalina</i> Leydig, 1860	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Ceriodaphnia</i> spp Dana, 1853 ?	X	-	-	-	-	+	-	+
<i>Ceriodaphnia lacustris</i> Birge, 1893	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars, 1862	-	-	-	-	-	-	-	+
Familia: Bosminidae Sars, 1865								
<i>Bosmina longirostris</i> O. F. Müller, 1776	-	-	-	-	-	-	-	+
Familia: Chydoridae Stebbing, 1902								
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller, 1785)	-	-	-	-	-	-	-	+
Superclase: Crustacea								
Subclase: Copepoda								
Orden: Calanoida								
Familia: Diaptomidae G.O. Sars, 1932								
Subfamilia: Diaptominae Kiefer, 1932								
<i>Arctodiaptomus dorsalis</i> (Marsh, 1907)	X	-	-	-	+	-	-	-
<i>Mastigodiaptomus albuquerquensis</i> (Herrick, 1895)	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Mastigodiaptomus amatitlanensis</i> (Wilson, 1941) †	-	-	-	-	-	-	+	-
Orden: Cyclopoida								
Familia: Cyclopidae Kiefer, 1927								
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Tropocyclops prasinus</i> (Fischer, 1860)	-	-	-	-	-	-	-	+
Subfamilia: Cyclopinae Kiefer, 1927								
<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853) *	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Mesocyclops thermocyclopoides</i> Harada, 1931*	X	-	-	-	-	-	-	-
Nauplio	X	X	X	X	-	+	-	+
Cyclopoide Juvenil	X	X	X	X	-	-	-	-
Calanoide Juvenil	X	X	X	X	-	-	-	-

En el presente estudio, se pudo observar la presencia de especies exclusivamente en un sitio, tal es el caso de *A. Fissa* y *B. plicatilis*, *A. dorsalis* y *M. thermocycloides*, que solo estuvieron presentes en el sitio Este Centro y *T. crassus* únicamente estuvo presente en Oeste Centro. Por otro lado, algunas especies se encontraron en varios sitios, como *E. macroura* y Bdelloidea que compartieron dos sitios de muestreo, Este Centro y Oeste Centro. Otras especies se encontraron en 3 sitios, por ejemplo *F. terminalis* y *A. sieboldi* presentes en Este Centro, Oeste Centro y Bahía Playa de Oro, al igual que *T. cf. longiseta* y *T. pusilla*, en Oeste Centro, Bahía Playa de Oro y Michatoya. De igual manera, se observaron especies que estuvieron presentes en todos los sitios de estudio (*B. angularis*, *B. calyciflorus*, *B. havanaensis*, *K. americana* y *F. longiseta*).

En la tabla 2 también se mencionan algunas especies que no han sido determinadas a nivel específico, tal es el caso de *Keratella spp.* en donde Bastarrachea-Díaz (1997) realizó un estudio del zooplancton a nivel general sin entrar en detalles específicos, Bdelloidea, en el cual no se llegó a la determinación específica en este trabajo, *Daphnia spp* y *Ceriodaphnia spp* en el cual, en años anteriormente estudiados, al igual que en el presente estudio, no se determinó al mínimo taxón posible.

Descripción de nuevos registros de especies de zooplancton**Familia Epiphanidae Harring, 1913**

Son organismos iloricados con cuerpo fusiforme, de forma cilíndrica o cónica. La pata puede ser corta o larga desviado ligeramente del tronco, los dedos son cortos y pequeños, pueden presentar de 1 a 2 dedos (ver Fig. 5B); el mástax es de tipo malado (ver Fig 5C); pueden ser ovíparos u ovovíparos; se caracterizan por ser de vida planctónica o semi-planctónica.

Epiphanes macroura Barrois y Daday, 1894

Epiphanes macroura Koste, 1978: Placa 3, Fig. 1.

Epiphanes macroura Sarma, 1988: 264, Fig. 2.

Epiphanes macroura Sarma y Elías-Gutiérrez, 1997: 342, 350 Fig. 1a, 1b.

Material examinado: 2 hembras colectadas, una en el sitio Este Centro en temporada de secas en el año 2016 y otra en Oeste Centro en la temporada de lluvias en el 2017.

Longitud total: 268 μm , longitud del tronco o cuerpo: 177 μm , longitud del pie: 127.11 μm , longitud de los dedos 12.22 μm .

Este organismo tiene cuerpo semi esférico, no se observa la lórica y presenta pliegues alrededor de la entrada de la cabeza (Fig. 5A), el pie es ligeramente más corto que la longitud total del cuerpo y presenta dos dedos laterales en la parte terminal del pie (Fig. 5B). Mástax de tipo malado, con 7 segmentos uncales (Fig.5C).

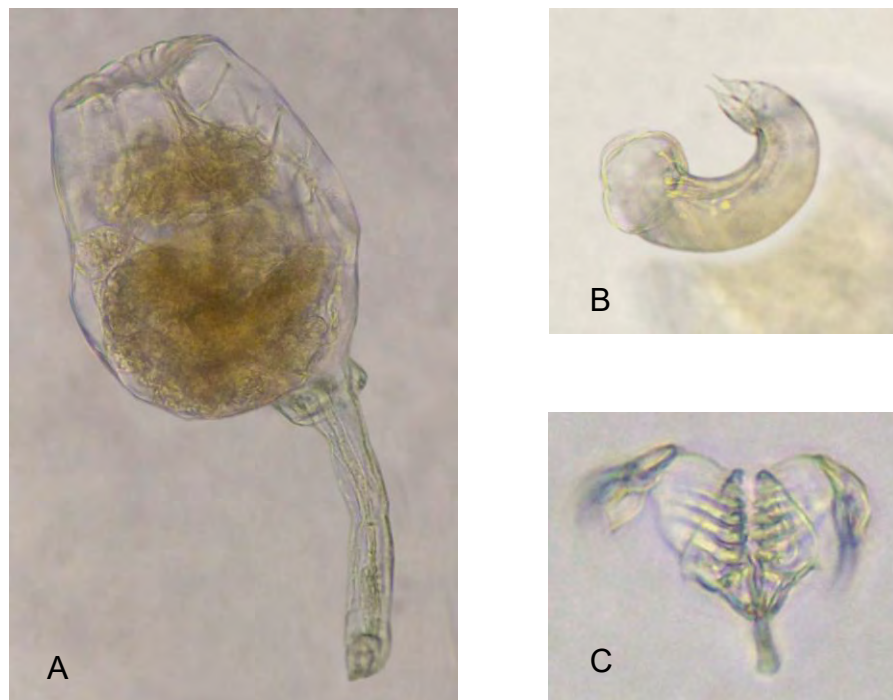


Fig. 5 *E. macroua*. A) organismo completo, se observa el cuerpo y el pie, B) pie y dedos, C) mástax de tipo malado.

Familia Brachionidae Ehrenberg, 1838

Son organismos lorizados de forma angular, rectangular o hexagonal (Ver Figs. 7, 8 y 9); posicionado con depresión prominente o ligera en la región dorsoventral; en la región caudal, puede o no tener espinas o extensiones (por ejemplo: Fig. 8), la cabeza y el pie se retraen dentro de la lórica; el pie puede estar presente o ausente y el mástax es de tipo malado.

Anuraeopsis fissa (Gosse, 1851)

Anuraeopsis fissa Koste 1978: Placa 34, Fig. 7.

Anuraeopsis fissa Sharma 1987: 273, Figs. 25, 26, 27, 29.

Anuraeopsis fissa Fortaneto y De Smet, 2015: 265, Fig. 4.54l.

Anuraeopsis fissa Doan-Dang *et al.* 2015: 66, Fig. 47; 182, Placa 2; 192.

Material examinado: 2 Hembras colectadas en temporada de secas en el año 2016 en Este Centro.

Longitud total: 73 μm .

Presenta lórica ventral relativamente recta, su cabeza es en forma de V en posición ventral y casi recto en posición dorsal. El tronco es la región más ancha del cuerpo y la región posterior es puntiaguda.

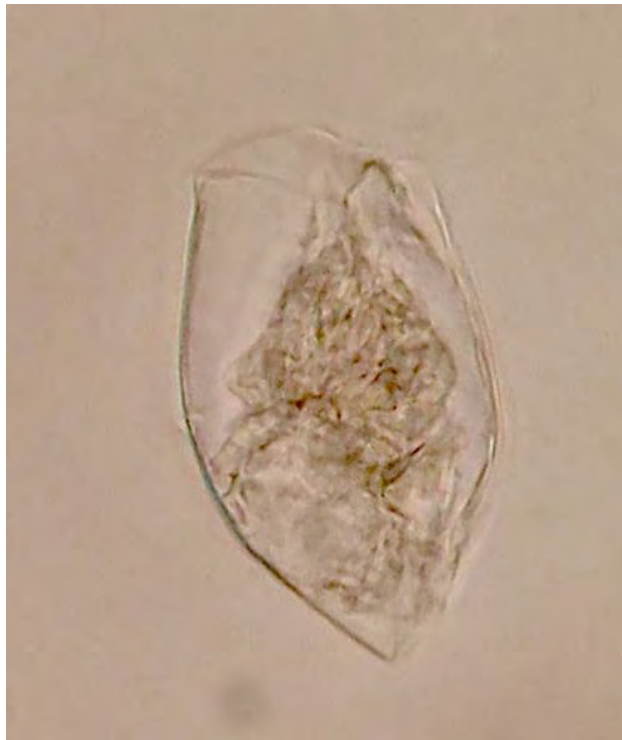


Fig. 6 A. fissa. Cuerpo completo, se distingue la parte ventral en forma de "V" y la región posterior que termina en punta.

Brachionus havanaensis Rosselet, 1911

Brachionus havanaensis Koste 1978: Placa 15, Fig. 2.

Brachionus havanaensis Segers et al. 1993: 4, Placa II, Fig. 6.

Brachionus havanaensis Cervantes-Martínez, et al. 2012: 22-23.

Material examinado: 2 Hembras en Este centro en temporada de secas en el año 2017.

Longitud total de espina lateral anterior a la inferior: 211 μm , longitud del cuerpo: 110 μm , ancho 88 μm , longitud del mástax: 44 μm .

Este organismo es loricado. La región anterior presenta 2 espinas laterales y dos espinas centrales ligeramente más pequeñas, entre las espinas laterales y centrales en cada lado se encuentra una espina pequeña como se muestra en la Fig. 7B. La región posterior tiene dos espinas laterales largas, la izquierda ligeramente más larga de la derecha y miden el doble de las espinas laterales anteriores (ver Fig. 7A). El mástax es de tipo malado y se encuentra posicionado en el centro del organismo (ver Fig. 7C).

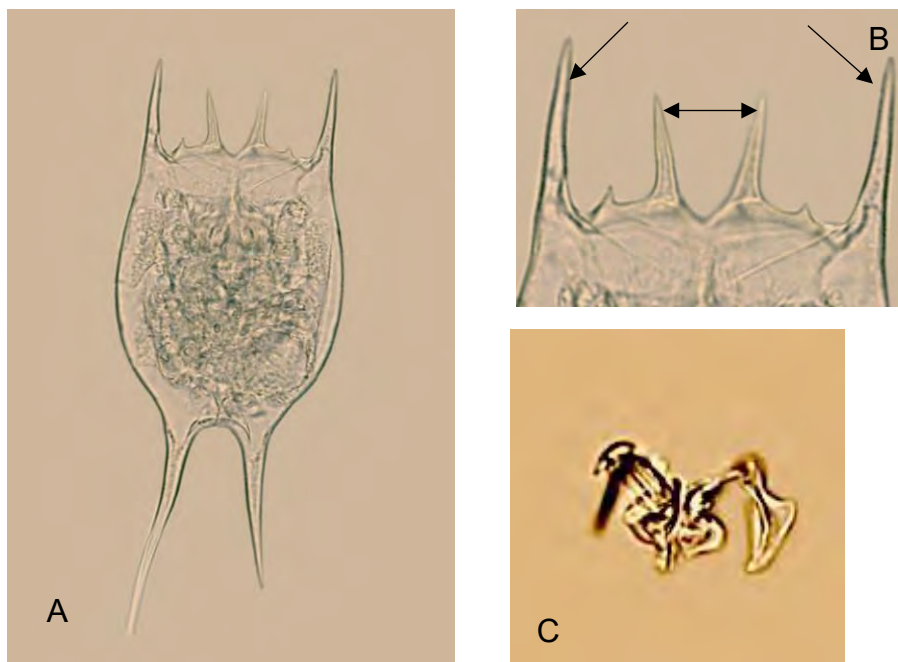


Fig. 7 *B. havanaensis*. A) cuerpo completo, se distinguen las espinas anteriores e inferiores, B) acercamiento a las espinas anteriores (flechas separadas, espinas distales y flechas unidas, espinas centrales), C) mástax de tipo malado.

Keratella americana Carlin, 1943

Keratella americana Koste 1978: Placa 17 Fig. 4, Placa 19 Fig. z, Placa 22 Fig. 1 a-g.

Keratella americana Cervantes-Martínez, et al. 2012: 23-24.

Keratella americana Tausz, et al. 2019: 342 Figura 1a.

Material examinado: Se examinaron numerosas hembras en temporada de lluvias del año 2017 en los cuatro sitios de muestreo.

Longitud total: 171.11 μm , longitud del cuerpo: 55.55 μm , longitud de la espina posterior: 97 μm .

Organismo fuertemente loricado, con cuatro placas hexagonales en posición dorsal (como se observa en las flechas de la Fig. 8), la lórica es convexa en posición ventral; tiene cuerpo alargado con 6 espinas en la región anterior, las dos espinas centrales son más largas y curvadas hacia el interior del individuo comparadas con las 4 espinas restantes, también presenta una espina central alargada en la región posterior del cuerpo.



Fig. 8 *K. americana*. Cuerpo completo, se observa en la región dorsal las proyecciones hexagonales marcadas en flechas.

Familia Trichocercidae Haring, 1913

Son organismos loricados con cuerpo ovalado, cilíndrico o fusiforme, casi siempre retorcidos o asimétricos y con cresta dorsal. Pie presente o ausente, en caso de presencia, el pie es corto, si hay presencia de dedos, puede ser de 1 a 2 (ver Figs. 9 y 10). El mástax es de tipo virgado (ver Fig. 10C).

Trichocerca cf. longiseta (Schrank, 1802)

Trichocerca longiseta Koste 1978: Placa 140, Fig. 7.

Trichocerca longiseta Fontaneto y De Smet 2015: 258, Fig. 4.51b.

Trichocerca longiseta Doan-Dang *et al.* 2015: 27; 32, Figure 19; 180, Placa 2, p.32, 189.

Material examinado: hembras registradas en los sitios Oeste Centro, Bahía Playa de Oro y Michatoya en noviembre (temporada de secas) del año 2016.

Longitud total: 260 μm

Organismo con el cuerpo cilíndrico y loricado, la región anterior presenta pliegues en la entrada de la cabeza, el pie tiene forma de espina que mide $\frac{3}{4}$ la longitud total del organismo, el mástax de tipo virgado.

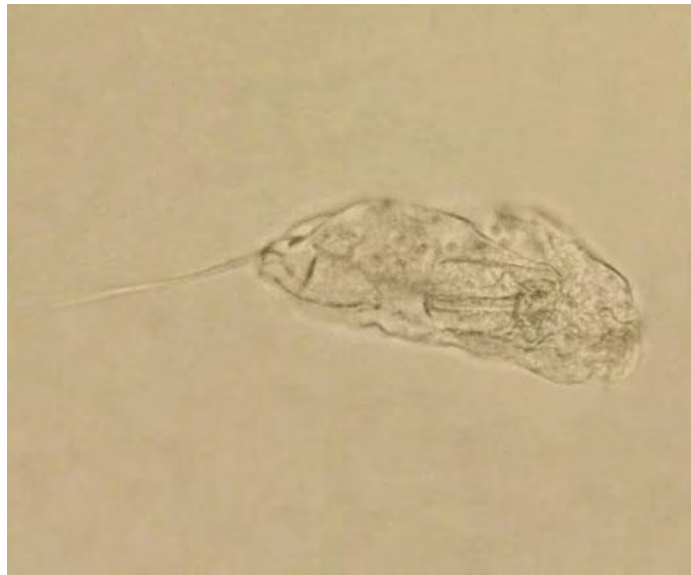


Fig. 9 *T. cf. longiseta*. Cuerpo completo. Se puede observar con facilidad varias secciones del mástax y el pie en forma de espina.

Trichocerca pusilla (Lauterborn, 1898)

Trichocerca pusilla Koste 1978: Placa 140 Fig. 1, Fig. 4.

Trichocerca pusilla Fontaneto y De Smet 2015: 220, Fig. 4.3.(J).

Trichocerca pusilla Doan-Dang *et al.* 2015: 27; 30, Fig. 13; 180, Placa 2, p.30; 189.

Material examinado: dos hembras registradas en los sitios Oeste Centro y Bahía Playa de Oro en temporada de lluvias en el año 2017.

Longitud total: 220 μm , longitud del cuerpo: 178.4 μm , longitud del pie: 41.55 μm , longitud del mástax: 36.66 μm , longitud del manubrio del mástax 29.33 μm .

Organismo loricado, tiene la forma general del cuerpo plano, ovalado y curvo en la región posterior dorsal del cuerpo, el pie es corto en forma de aguijón terminal en la región posterior. Mástax de tipo virgado, el manubrio derecho es ligeramente más curvada que el izquierdo, la parte terminal del fulcrum es ligeramente curvada en la región terminal, es ligeramente más largo que los manubrios.



Fig. 10 *T. pusilla*. A) cuerpo completo, B) acercamiento al pie en forma de aguijón, C) mástax de tipo virgado.

Familia Asplanchnidae Eckstein, 1883

Son organismos iloricados, el cuerpo tiene forma de saco con cabeza diferenciada, algunos organismos pueden tener proyecciones laterales, las glándulas gástricas se ubican en el esófago, pueden ser ovíparos u ovovíparos.

Asplanchna sieboldi (Leydig, 1854)

Asplanchna sieboldi Koste 1978: Placa, 165 Fig. 4.

Asplanchna sieboldi Sanoamuang 1992: 58, 60 Fig. 3.4c-d.

Asplanchna sieboldi Doan-Dang, *et al.* 2015: 25 Fig. 14; 180 Placa 2 p.26; 190.

Material examinado: dos hembras registradas en ambas fechas (noviembre 2016 y junio 2017) en temporada de secas y lluvias, en Este Centro y Oeste Centro.

Longitud total: 442.8 μm , ancho: 273.7 μm , mástax: 83.11 μm .

Organismo iloricado, con cuerpo de forma ovalada. Se observa que es más ancha en la región posterior que la anterior, los órganos son visibles y no tiene la presencia del pie, la cabeza que rodea la región anterior está comprendido por 5 pliegues diferenciados. El mástax es de forma incundada ubicada en la región anterior en el centro del organismo, en la región media del manubrio se ubica una pequeña espina interior en cada lado.



Fig. 11 A. *sieboldi* A) cuerpo completo, B) mástax de forma incundada.

Bdelloidea

Son organismos usualmente iloricados y tienen mástax de forma ramada. La cantidad de dedos puede ser de 2 a 4.

Material examinado: dos individuos encontrados en Oeste Centro en la temporada de secas en noviembre de 2016.

Medida de la longitud total: 185 μm

Los dos ejemplares estudiados presentan morfología similar, por lo que se pudiera tratar de la misma especie. Son organismos iloricados con forma del cuerpo cilíndrico y semi ovalado. No se observa el pie ni estructuras de los dedos. La parte ventral de la cabeza presenta forma de "V" ligeramente curvo en los extremos.

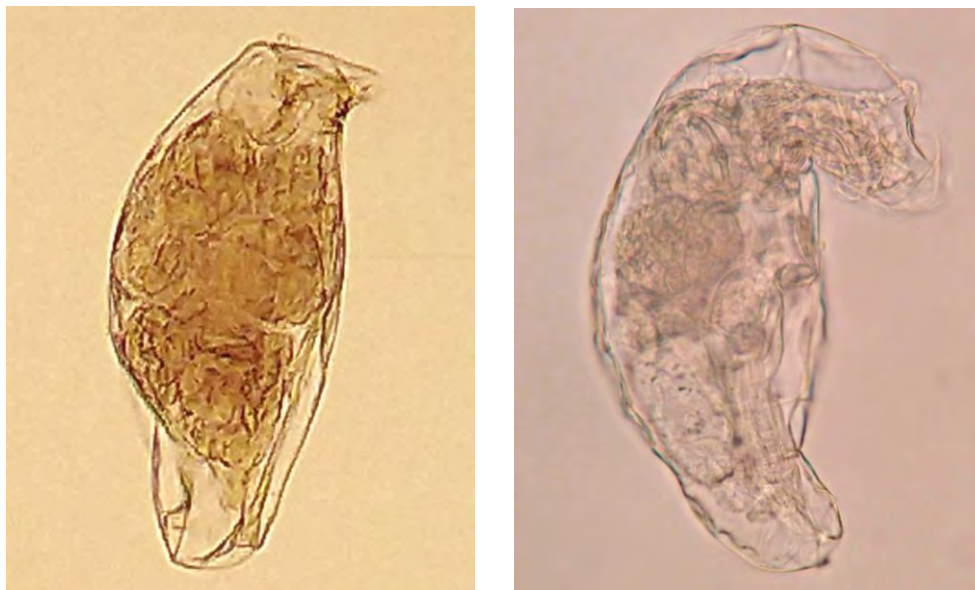


Fig. 12 Dos hembras de la subclase Bdelloidea. Se observa la morfología general del cuerpo completo.

Orden Calanoida

Estos organismos se caracterizan por tener un hábitat marino y dulce, cuentan con una amplia distribución en sistemas epicontinentales.

La morfología más característica son las anténulas con 22 a 25 segmentos que sobrepasan el margen posterior del cefalotórax que es de forma alargada y ovalada. El urosoma tiende a ser delgado y alargado. La quinta pata puede observarse fácilmente, las hembras y los machos presentan la quinta pata de forma articulada, las hembras tienen dos segmentos articulados usualmente encontrados unos con otros y los machos presentan la quinta pata con una espina lateral en el segundo exopodito y una garra terminal (Figs 13 y 14).

Arctodiaptomus

Las características de este género radican en las anténulas con dos setas en el segmento 11, la anténula derecha de los machos presenta espinas en los segmentos 8, 10, 11 y 13 sin embargo, en ocasiones se presenta también en el segmento 14 (Fig. 14.5 y 14.6), las espinas de la quinta pata de la hembra son cortas (Fig. 13.2).

Arctodiaptomus dorsalis (Marsh, 1907)

Arctodiaptomus dorsalis Marsh 1907: 408; 503-505, Figs. 8 y 9; 506, Figs. 2-3, 5-6.

Arctodiaptomus dorsalis Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez 2001: 13, Figs, 1-6; 14, Figs, 7-11; 15; Fig.12. *Arctodiaptomus dorsalis* Elías-Gutiérrez *et al.* 2008: 174 Fig. 8.

Material examinado: tres hembras y un macho encontrados en Este Centro en temporada de lluvias del año 2017.

Medidas (de la hembra y macho respectivamente): longitud total: 1,470 μm , 1,270 μm ; cefalotórax 1,250 μm , 780 μm ; urosoma 500 μm , 490 μm ; quinta pata (basis y exopodito) 220 μm , 450 μm ; anténula 1,330 μm , 1,000 μm .

Descripción de la hembra: Algunos ejemplares presentan proyecciones dorsales en la parte posterior del tórax, el último segmento del prosoma presenta dos espinas juntas del lado derecho en posición ventral. la base de la anténula presenta dos espinas laterales externas juntas hacia el lado derecho y una serie de 6 espinas presentes cerca de la región terminal. Solo tiene un segmento urosomal, la región anterior es más ancha y con una pequeña espina en cada lado. El endopodito de la quinta pata presenta una espina lateral y una serie de setas que rodean la punta (ver Fig, 13.3), el segundo exopodito presenta una serie de espinas gruesas en el extremo centro-lateral interno, se observa una pequeña espina sobrepuesta en el tercer exopodito (ver Fig, 13.4 y 13.5).

Descripción del macho: Cefalotórax de forma alargada, que ocupa aproximadamente el 75% del organismo entero (ver Fig 14.1), la anténula derecha tiene un total de 22 segmentos en los cuales los segmentos 8, 10, 11, 13 y 14 tienen una espina lateral (ver Figs. 14.5 y 14.6), los segmentos 13, 14, 15 y 16 son muy anchos comparados con el resto, los segmentos 19 y 20 son los más alargados y entre estos presenta una división articulada. La espina del segundo exopodito izquierdo es 2 veces más largo que la espina terminal de ésta (ver Fig. 14.3), los endopoditos terminan en punta y con una serie de setas alrededor (ver Fig 14.3 y 14.4).



Fig. 13 *A. dorsalis* hembra. 1) cuerpo completo, 2) quinta pata, 3) endopoditos de la quinta pata, 4) segundo exópodo de la quinta pata con una serie de espinas en el extremo lateral, 5) tercer exopodito con una espina sobrepuesta.

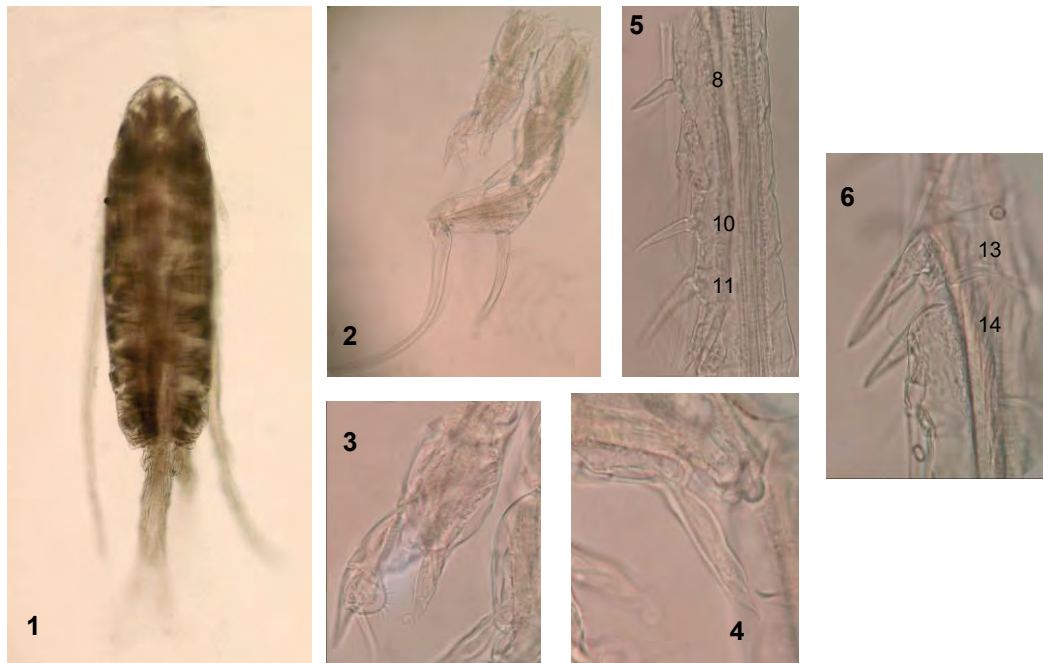


Fig. 14 *A. dorsalis* macho. 1) cuerpo completo del macho, 2) quinta pata, 3) endopodito izquierdo de la quinta pata, 4) endopodito derecho de la quinta pata, 5) anténula con espinas en los segmentos 8, 10 y 11; 6) anténula con espinas en los segmentos 13 y 14.

Orden Cyclopoida

Los copépodos cyclopoides son más pequeños comparados con los calanoides, el cefalotórax tiene una forma más circular y ligeramente más alargado que el urosoma y las anténulas son significativamente más cortas, de 6 a 18 segmentos según la especie. Las hembras tienen la orientación de las anténulas del cefalotórax hacia abajo, mientras que los machos presentan las anténulas hacia arriba en forma de cuernos. A diferencia de los calanoides, la quinta pata es más pequeña, incluso que el resto de las patas y presenta una forma trisegmentada.

Thermocyclops

Para determinar a nivel género de estos organismos, las claves dicotómicas para *Thermocyclops* son: el receptáculo seminal semirecto en forma de "T" con una longitud de radio de 3.5 a 4.5 μm aproximadamente, la quinta pata presenta una seta interna en el segmento terminal que está inserta terminal o subterminalmente. No presenta membrana hialina en las anténulas.

Thermocyclops crassus (Fischer, 1853)

Thermocyclops crassus Gutiérrez-Aguirre y Suárez-Morales 2000: 707-712, Figs. 1-15.

Thermocyclops crassus Elías-Gutiérrez, et al. 2008: 227, 250 Fig. 61.

Thermocyclops crassus Doan-Dang, et al. 2015: 156; 162 Fig. 103.

Material examinado: dos hembras colectadas en temporada de secas y lluvias en los años 2016 y 2017 respectivamente en Este Centro.

Medidas: cefalotórax: 450 μm , urosoma 470 μm , quinta pata 209 μm , anténula 410 μm .

La forma del cefalotórax es semi ovalada, ligeramente más ancha en la parte anterior que posterior (ver Fig. 15.1). Tiene 17 segmentos en las anténulas (ver Fig. 15.2), la distinción más clara de esta especie es que el receptáculo seminal de las hembras en forma de "T" semi recto (ver Fig. 15.4). Las espinas presentes en el segundo endopodito están en el mismo nivel y la segunda es ligeramente más larga que otra con una serie de espinas alrededor (ver Fig. 15.5).



Fig. 15 *T. crassus*. 1) cuerpo completo, 2) anténula, 3) urosoma, 4) somita genital, 5) quinta pata (Tomado de Gutiérrez-Aguirre y Suárez-Morales, 2000. Fig. 12).

Mesocyclops

Los caracteres que definen al género son los siguientes: región media del margen interno de la quinta pata con una seta en posición terminal, en las hembras, el último segmento de la anténula es de 3 a 5 veces más larga que ancha y a diferencia del género anterior, presenta una membrana hialina en los dos segmentos distales de la anténula.

Mesocyclops thermocyclopoides Harada, 1931

Mesocyclops thermocyclopoides Gutiérrez-Aguirre, Reid y Suárez-Morales. 2003: 352-362, Fig. 1 F-G, Fig. 2 A-D, Fig. 5 A-C.

Mesocyclops thermocyclopoides Gutiérrez-Aguirre *et al.* 2006: 555, Fig. 4. A, E; 558, Fig. 5 D, E.

Mesocyclops thermocyclopoides Elías-Gutiérrez *et al.* 2008: 223 y 240, Fig. 51.

Material examinado: dos hembras y un macho en temporada de secas en el año 2017 en el sitio Este Centro.

Longitud total (de la hembra y el macho respectivamente): 1100 μm , 1000 μm ; cefalotórax: 490 μm , 400 μm ; urosoma de la hembra: 490 μm ; anténula de la hembra: 590 μm .

Descripción de la hembra: el cuerpo en general es de forma cilíndrica y ligeramente alargada, la superficie dorsal es lisa (ver Fig. 16.1), las anténulas están ubicadas en el segundo segmento torácico, tienen 17 segmentos con membrana hialina ubicada en los segmentos 16 y 17; la base de la antena en vista caudal tiene 4 series de espinas (ver Fig. 16.3); el segmento distal de la quinta pata tiene espinas agrupadas a lo largo de la espina media (Fig. 16.4), el somita genital es lisa en la superficie ventral, el receptáculo seminal está representado por dos brazos de márgenes cóncavos (ver Fig.16.2).

Descripción del macho: la forma general del cuerpo y de la quinta pata es similar que el de las hembras (ver Fig. 16.5), presenta 16 segmentos en las anténulas, en el primer segmento se encuentra una tira de espinas pequeñas en la región proximal, el margen distal del abdomen tiene una serie de espinas en posición dorsoventral.

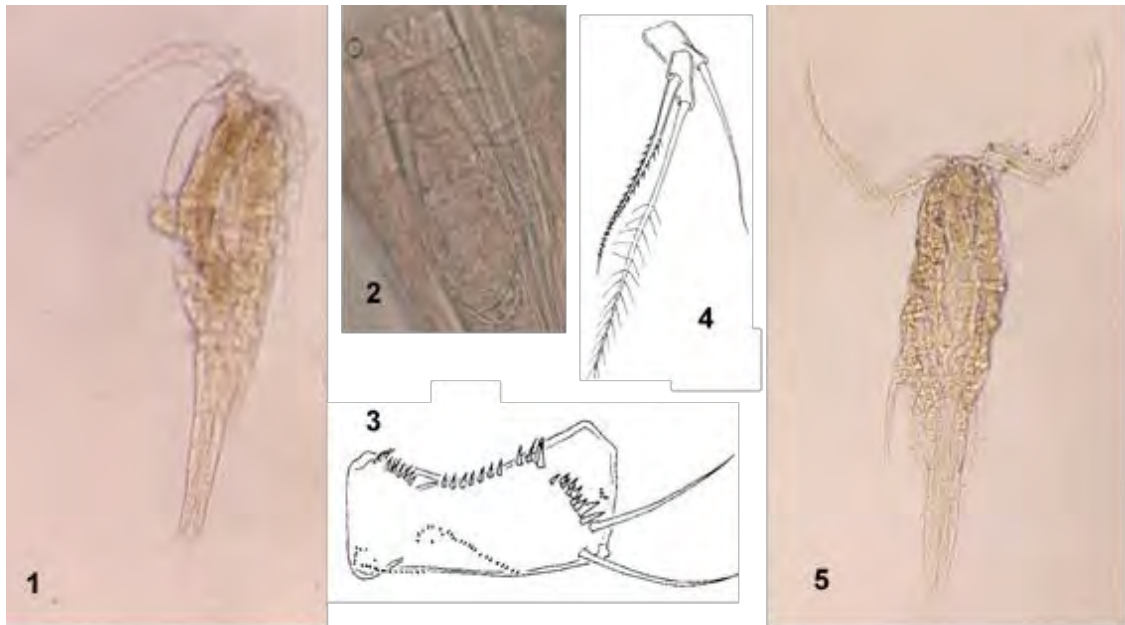


Fig. 16 *M. thermocyclooides*. 1 cuerpo completo de la hembra, 2 receptáculo seminal de la hembra, 3 base de la antena (tomado de Gutiérrez-Aguirre, et al. 2003), 4 quinta pata (tomado de Gutiérrez-Aguirre, et al. 2003), 5 cuerpo completo del macho.

Abundancia del zooplancton

La mayor abundancia del zooplancton, la presentó el grupo de los rotíferos, representando el 98.7% de la abundancia total (2,613 Ind/L) de los sitios de estudio, el 1.3% (35.49 Ind/L) restante estuvo comprendida por el grupo de los copépodos con una mayor dominancia de estadios naupliares y juveniles (copepoditos). Cabe mencionar que solo se registró a un ejemplar adulto de *M. thermocycloides* en el sitio Este Centro correspondiendo a una abundancia de 0.23 Ind/L.

Como hubo heterogeneidad en las abundancias de especies de rotíferos, se presentan primeramente los resultados de aquellas especies que tuvieron abundancias más homogéneas entre ellas y se describen a continuación: de manera general, tres sitios de estudio: Oeste Centro, Bahía Playa de Oro y Michatoya tuvieron abundancias similares de (46.58 Ind/L, 45.17 Ind/L y 48.63 Ind/L respectivamente, (Ver Figs. 18, 19 y 20), el sitio Este Centro presentó la menor abundancia (10.98 Ind/L) en comparación a los tres sitios anteriores (ver Fig. 17).

Las abundancias de *B. calyciflorus* y *B. angularis* tuvieron el mismo comportamiento en Este Centro y Oeste Centro. En las Figuras 17 y 18 se observa que *B. calyciflorus* tiene la misma abundancia en ambos sitios (0.70 Ind/L), del mismo modo, se observa que *B. angularis* está ausente (es decir, una abundancia de 0 Ind/L). En Michatoya (Fig. 20), la abundancia presentó ligeras diferencias, pues los valores fueron de 4.67 y 1.87 Ind/L respectivamente. Sin embargo, en Bahía Playa del Oro (ver Fig. 19), la abundancia de estas especies es considerablemente mayor (85.56 y 71.56 Ind/L respectivamente). Las especies con la menor abundancia fueron *B. plicatilis*, que solo se encontró en Oeste Centro (0.47 Ind/L) y *A. sieboldi*, donde se registró su mayor abundancia en Bahía Playa de Oro (2.33 Ind/L). Se puede observar que *T. cf. longiseta* y *T. pusilla* tienen una abundancia muy similar en Bahía Playa de Oro y Michatoya (14 y 13.22 Ind/L en Bahía Playa de Oro, 12.60 y 11.20 Ind/L en Michatoya), en Este Centro estas especies están ausentes y Oeste Centro *T. cf. Longiseta* está ausente. Se puede observar también un patrón de comportamiento entre *F. longiseta* y *F. terminalis*, pues a pesar de estar presentes en todos los sitios, *F. terminalis* siempre presentó una mayor abundancia que *F. longiseta* (ver Figs. 17 a 20). Respecto a las poblaciones de estadios naupliares y juveniles de los copépodos, se encuentran presentes en todos los sitios de estudio con una abundancia que no rebasan los 6 Ind/L (ver Figs. 17 a 20).

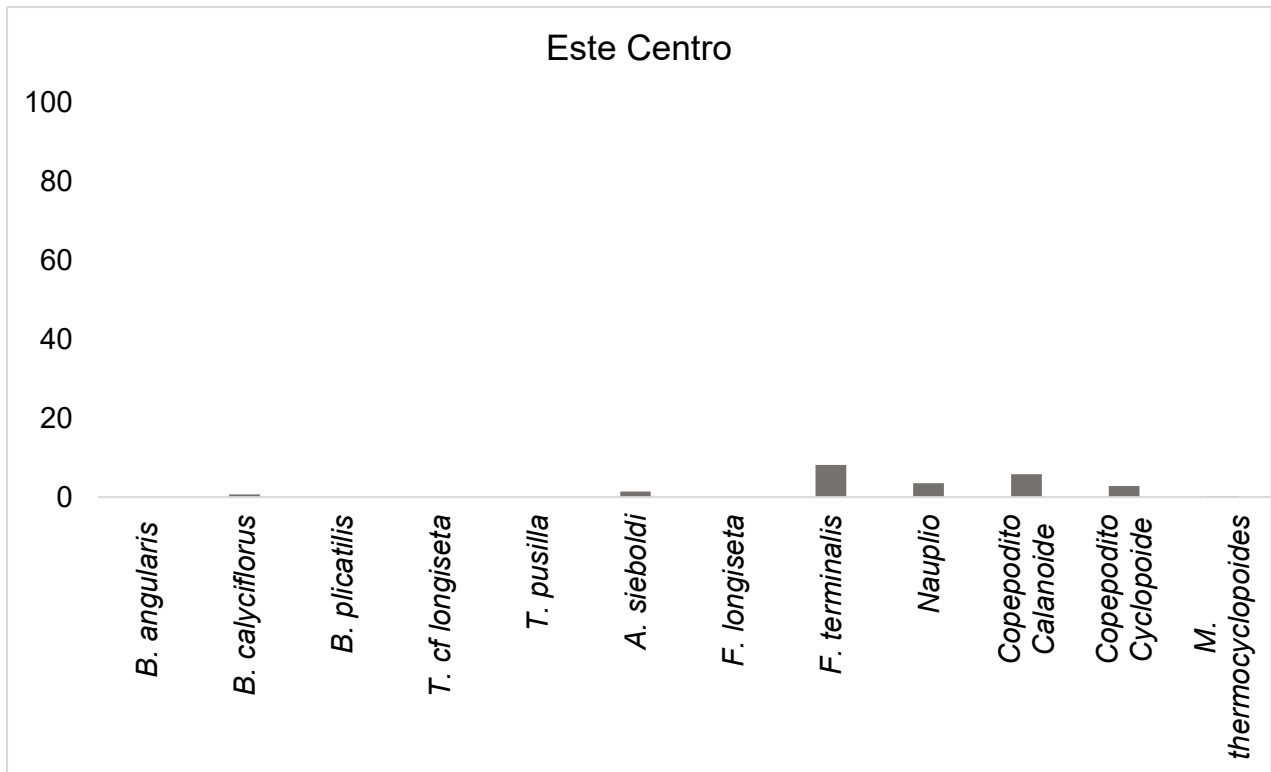


Fig. 18 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Este Centro.

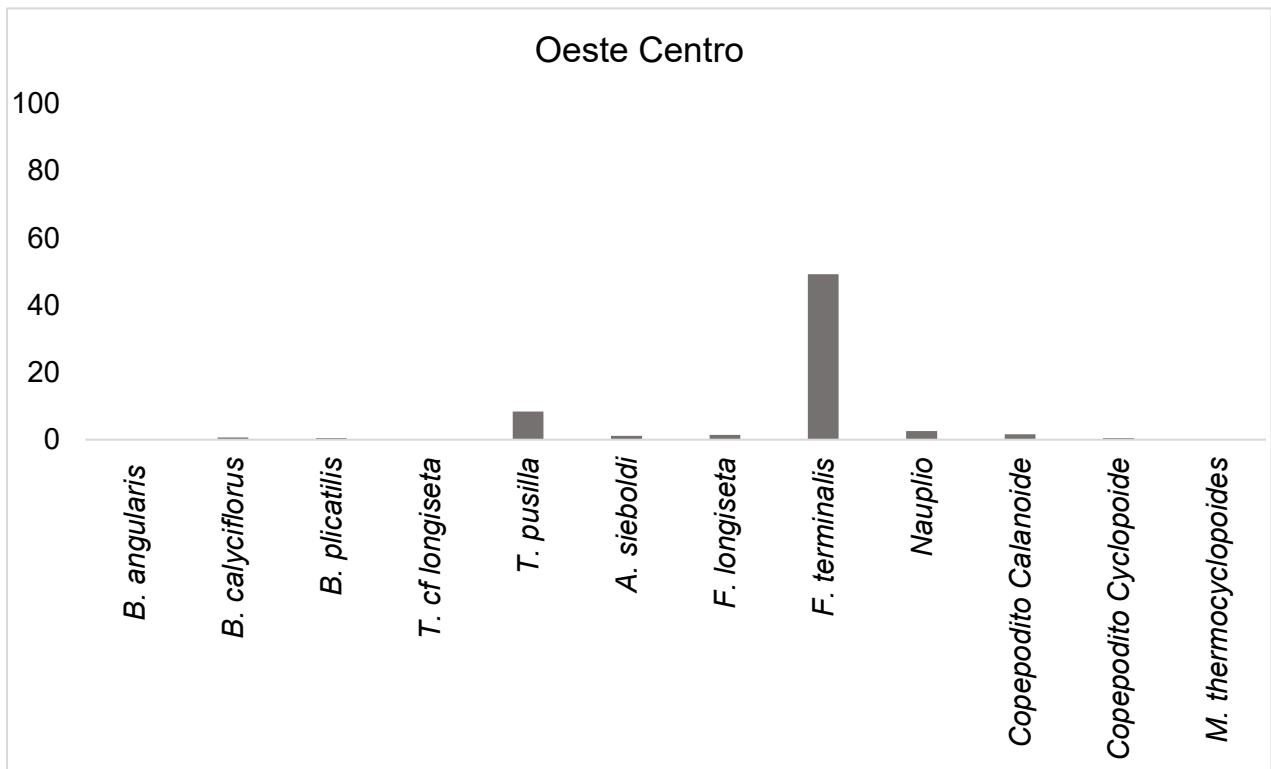


Fig. 17 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Oeste Centro.

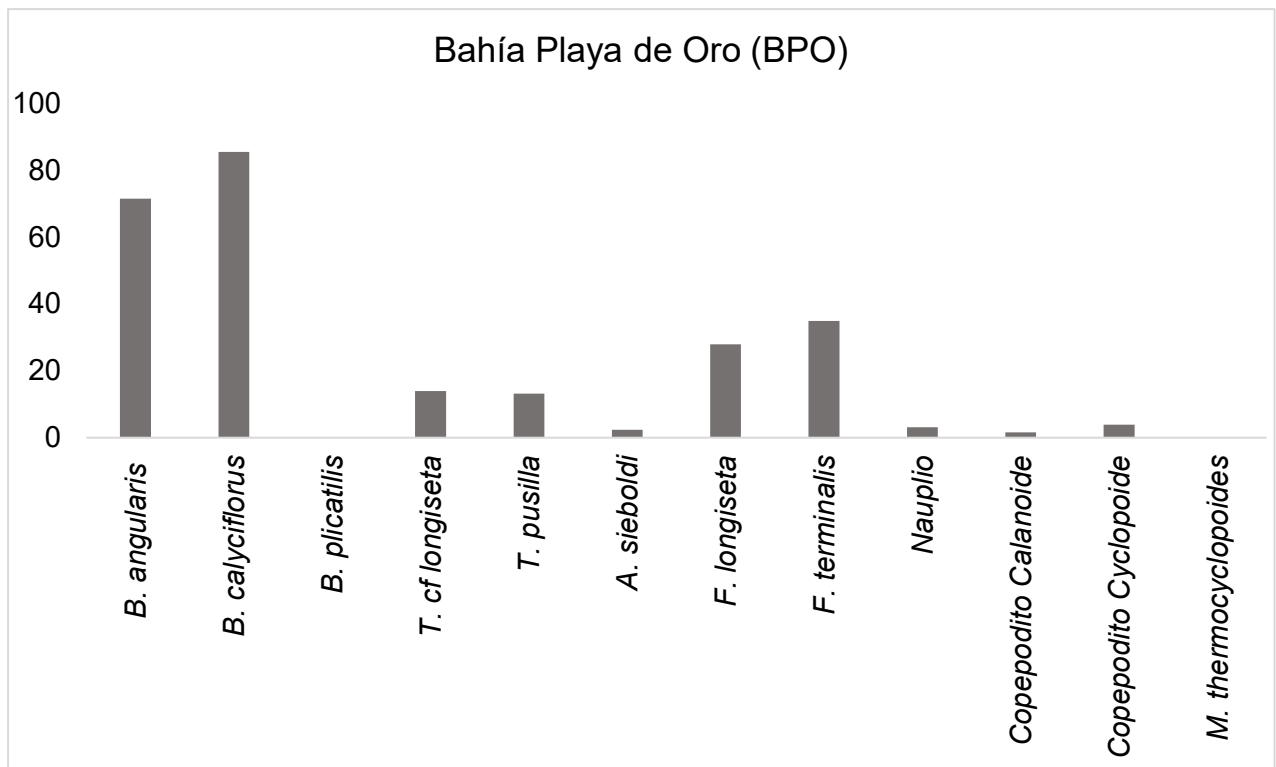


Fig. 20 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Bahía Playa de Oro.

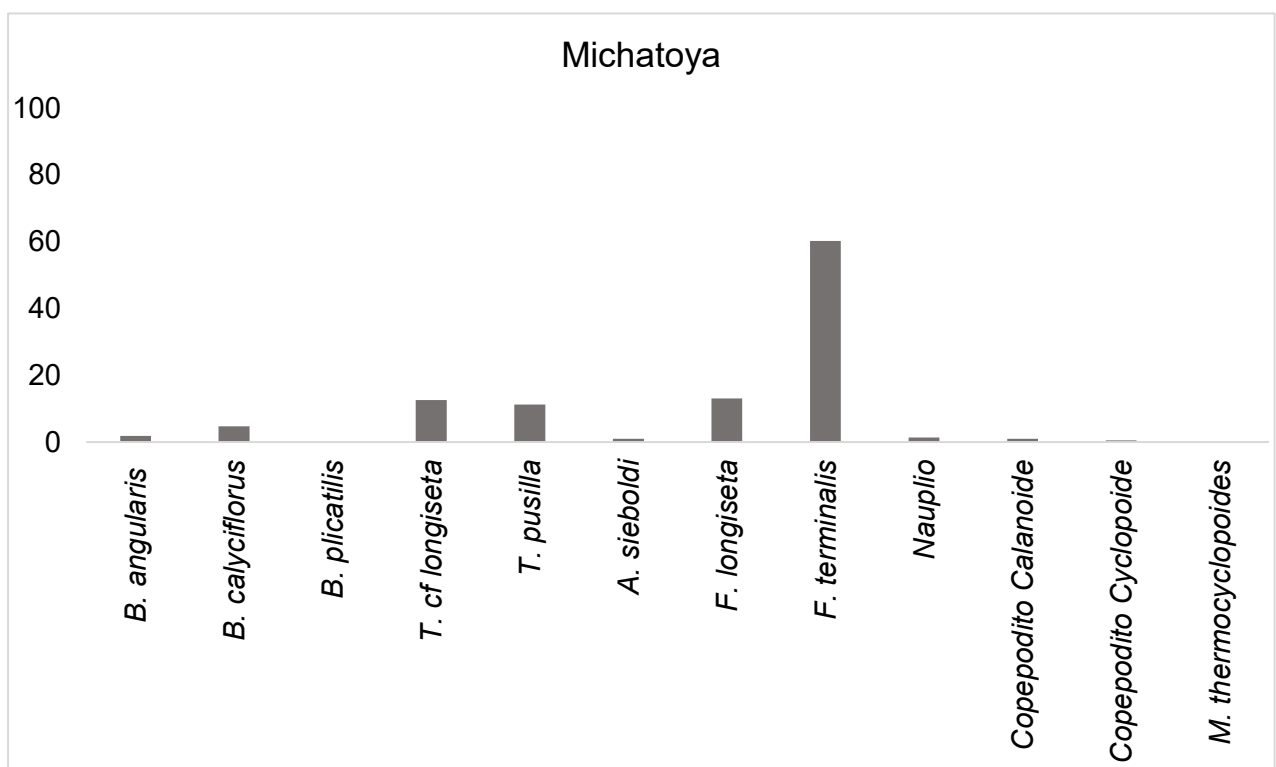


Fig. 19 Abundancia específica del zooplancton en junio de 2017 Michatoya.

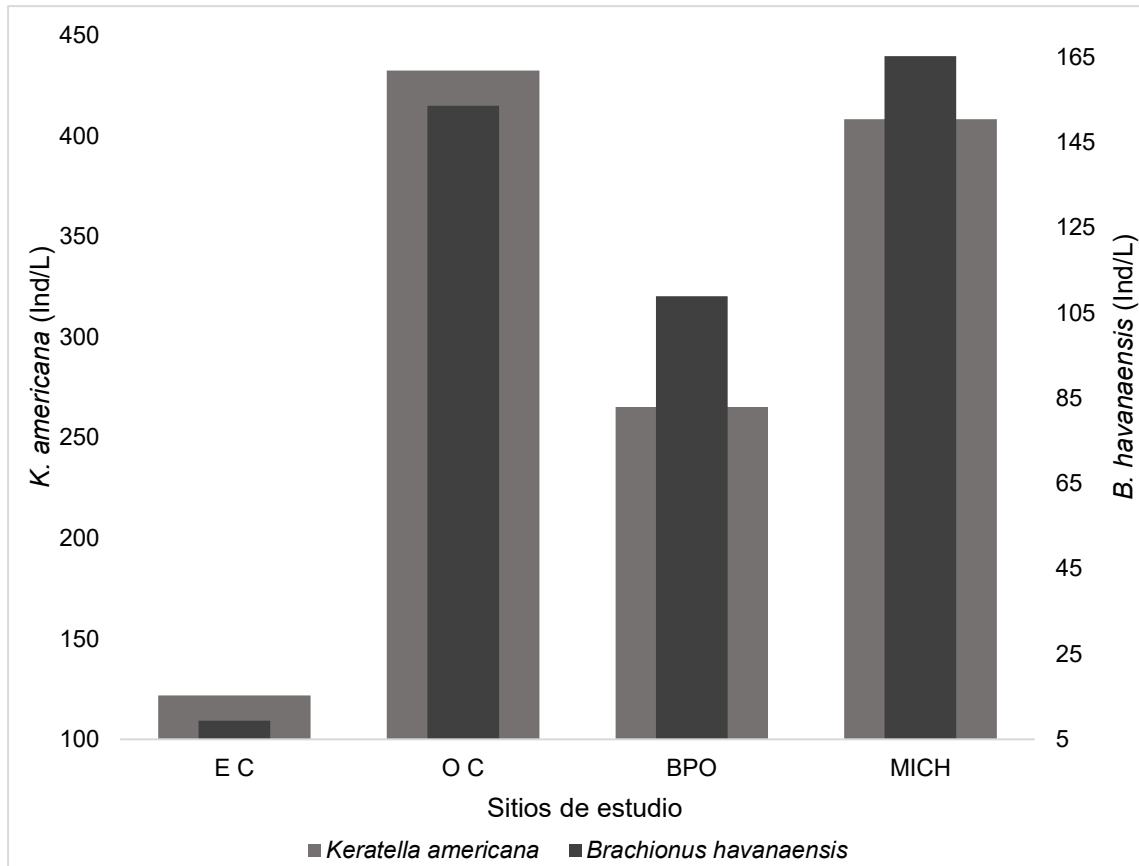


Fig. 21 Especies más abundantes del Lago Amatitlán en los 4 sitios de estudio. Note la diferencia de escalas en el eje de las "Y". EC= Este Centro, OC= Oeste Centro, BPO= Bahía Playa de Oro, MICH= Michatoya

Como se comentó anteriormente, hubo heterogeneidad en la abundancia de las especies, tal es el caso de *K. americana* y *B. havanaensis* ya que, sobrepasan en número al resto de las especies registradas. Se observa que *K. americana* es la especie más abundante en los 4 sitios de estudio, su mayor abundancia fue de 432.60 Ind/L y la menor de 121.80 Ind/L y, por otro lado, la mayor de *B. havanaensis* fue de 165.20 y la menor de 9.33 y Ind/L respectivamente, (ver Fig. 21).

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

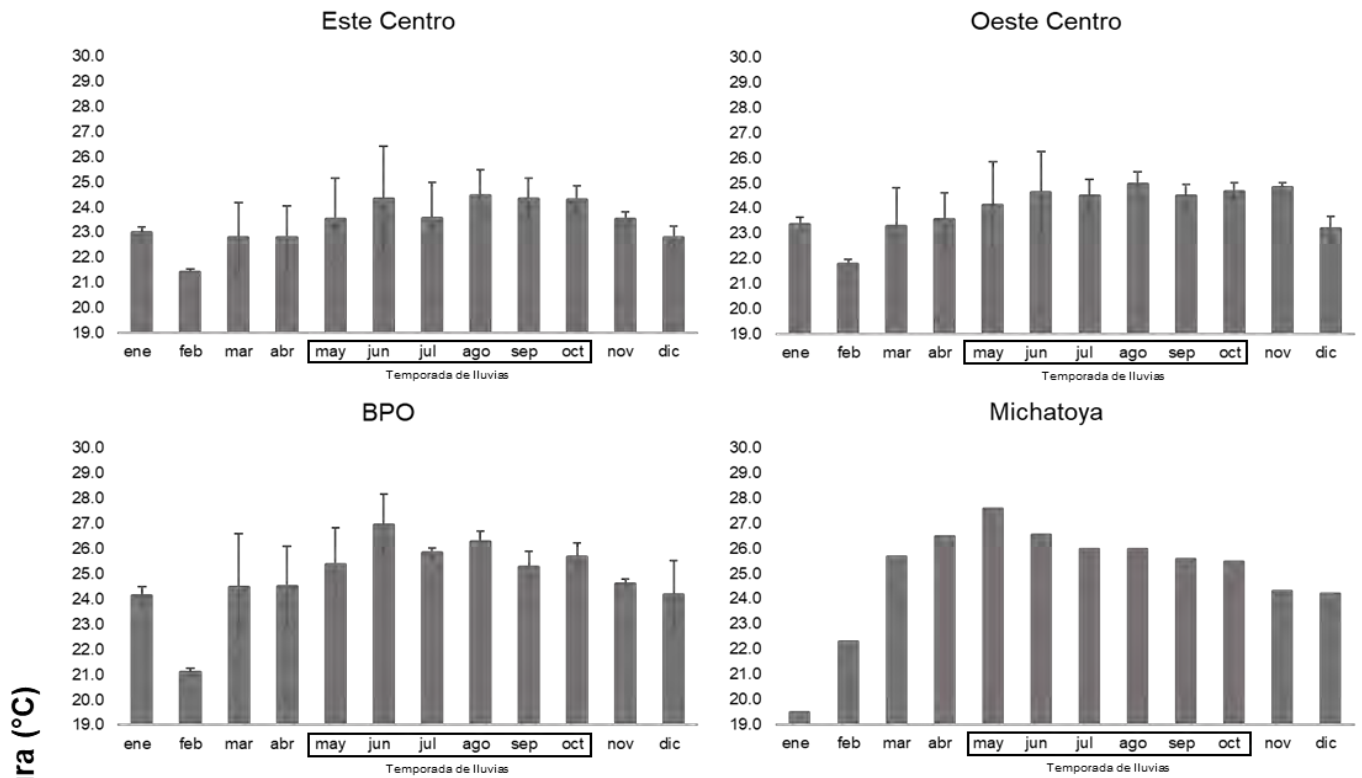
En este apartado, se presentan los datos de los parámetros fisicoquímicos para los años 2016 y 2017 proporcionados por AMSA. Las variables reportadas fueron de temperatura del agua, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, conductividad, salinidad y pH a diferentes profundidades o regiones del lago: epi, meta e hipolimnética.

Temperatura del agua

La temperatura del agua en ambos años de estudio del lago osciló 23.1°C – 25.5°C en toda la columna de agua. La tendencia a lo largo del periodo de estudio mostró que la temperatura más alta se registró en Michatoya, con una temperatura promedio de 25 °C y Este Centro presentó la temperatura más baja con un valor de 23 °C. La temperatura en el año 2017 se comportó de una manera similar comparada con el año 2016, en donde se observa la variabilidad de temperatura en una parte de la temporada de secas, la cual tuvo temperaturas más altas comparada con la temporada de lluvias para ambos años (ver Fig. 22).

En la región epilimnética, la temperatura más elevada fue en marzo que alcanzó el valor de 29.4°C y en junio con 29.1°C en Bahía Playa de Oro en el 2016, mientras que las temperaturas más bajas oscilaron entre 21°C y 22°C en febrero en 3 sitios de estudio (ver Figs. 23 y 24), sin embargo, la temperatura más baja en este año se registró en enero con una temperatura de 19.5°C en Michatoya (ver Fig. 22). En la región hipolimnética, a 20 metros de profundidad, la temperatura osciló entre 21 – 24 °C (ver Figs. 23 y 24).

Lago Amatitlán 2016



Lago Amatitlán 2017

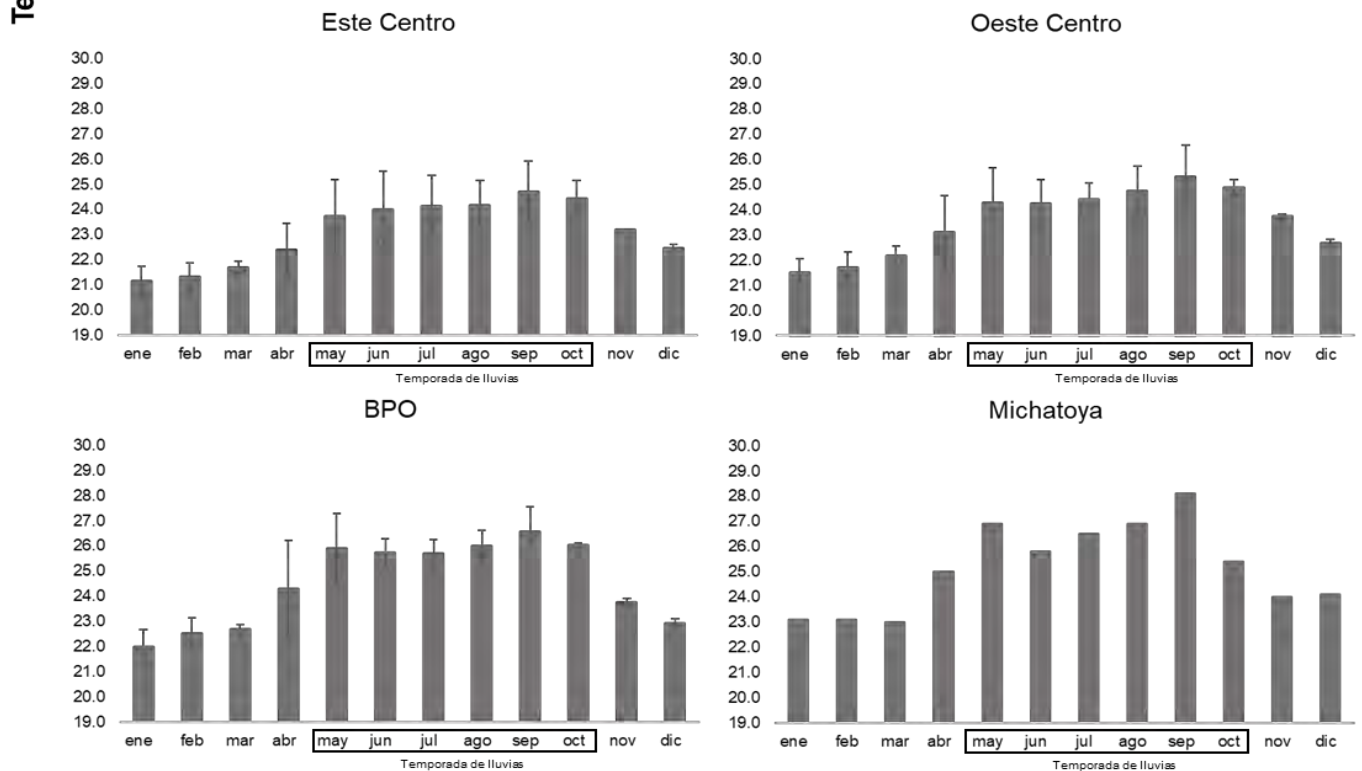


Fig. 22 Promedio de temperatura en los años 2016 y 2017 con desviación estándar. Obsérvese que Michatoya es el sitio que no presenta desviación debido a que son datos a nivel superficial.

En las Figuras 23 y 24 se puede observar la mezcla de temperaturas en distintas profundidades del lago en temporada de secas principalmente, donde la temperatura es más baja comparada con la temporada de lluvias, en los meses de noviembre a febrero y de agosto a octubre, sin embargo, este comportamiento de temperaturas comienza a partir de los 4 metros, ya que existe una termoclina de aproximadamente 1.5 - 2 °C en la región epilimnética, esto se puede observar en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre y diciembre en la región estratificada. Los meses con temperaturas más estables fueron enero, febrero y noviembre de los cuales noviembre se caracterizó por ser el mes donde el lago se encontró mezclado.

En cuanto a la temporada de lluvias (de mayo a octubre) la termoclina estuvo bien definida en todos los sitios por lo que se trata de una estratificación muy marcada en esta temporada en los dos años analizados.

Temperatura 2016

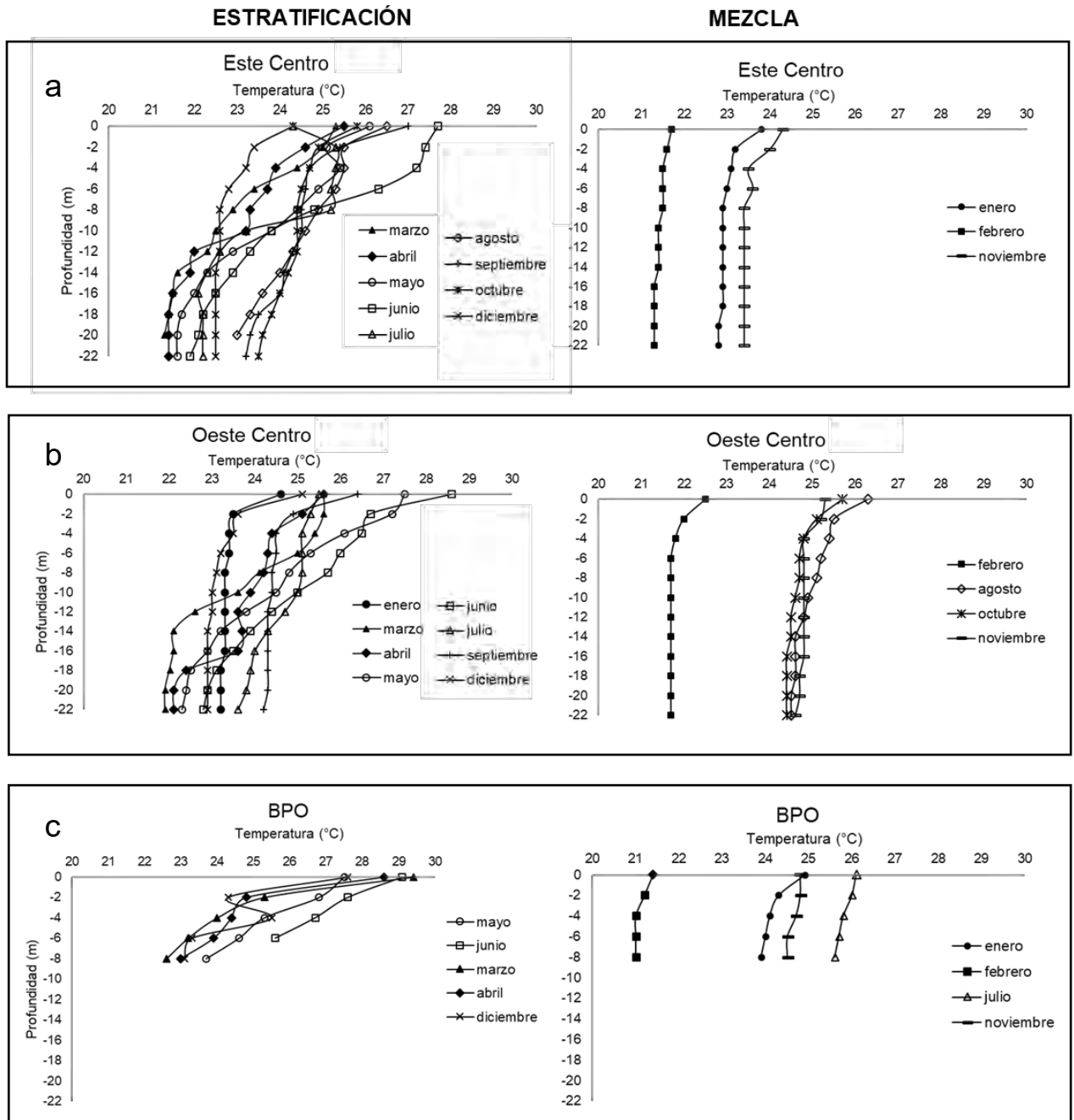


Fig. 23 Perfil vertical de temperatura del Lago Amatitlán en el año 2016.

Temperatura 2017

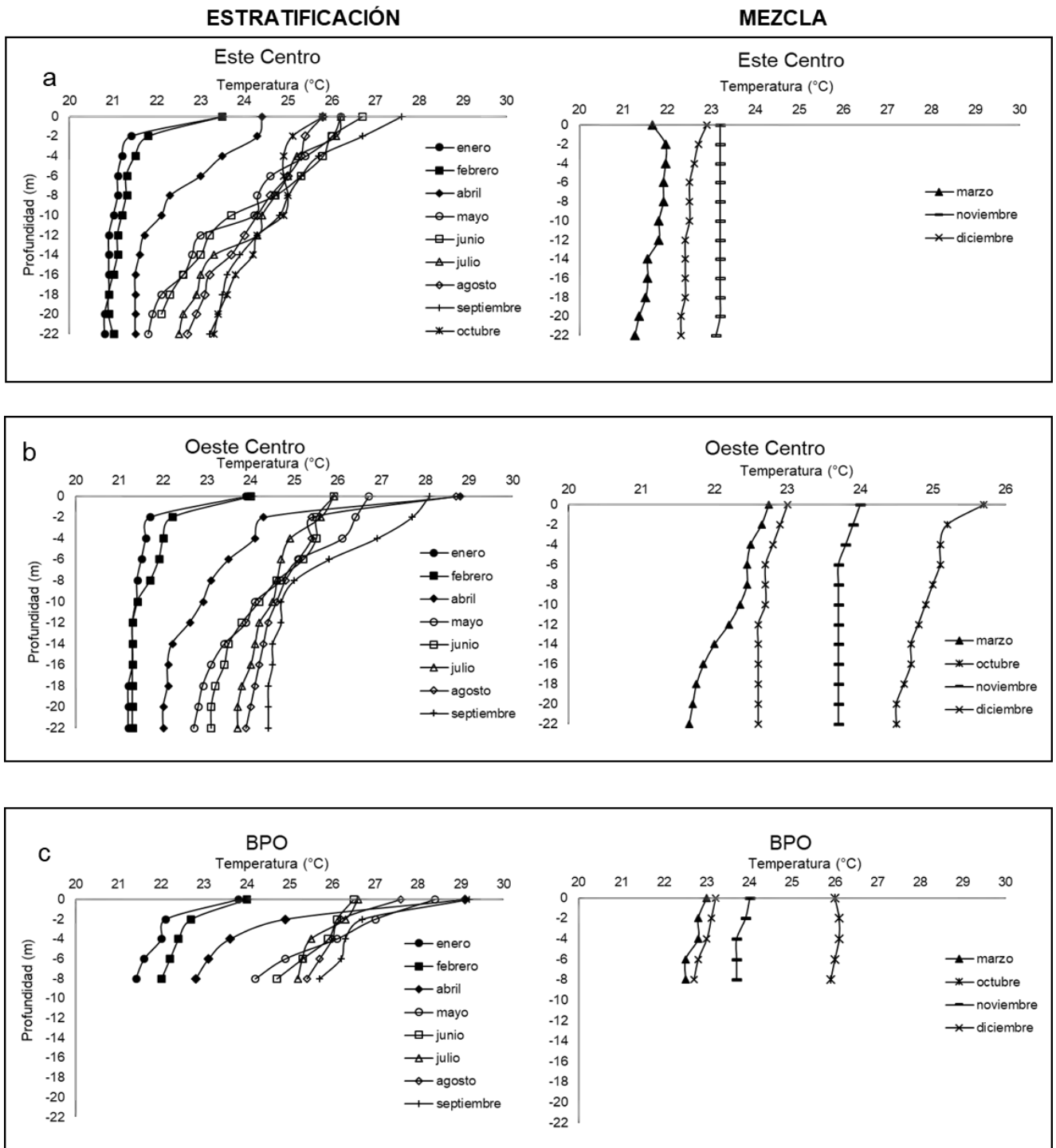


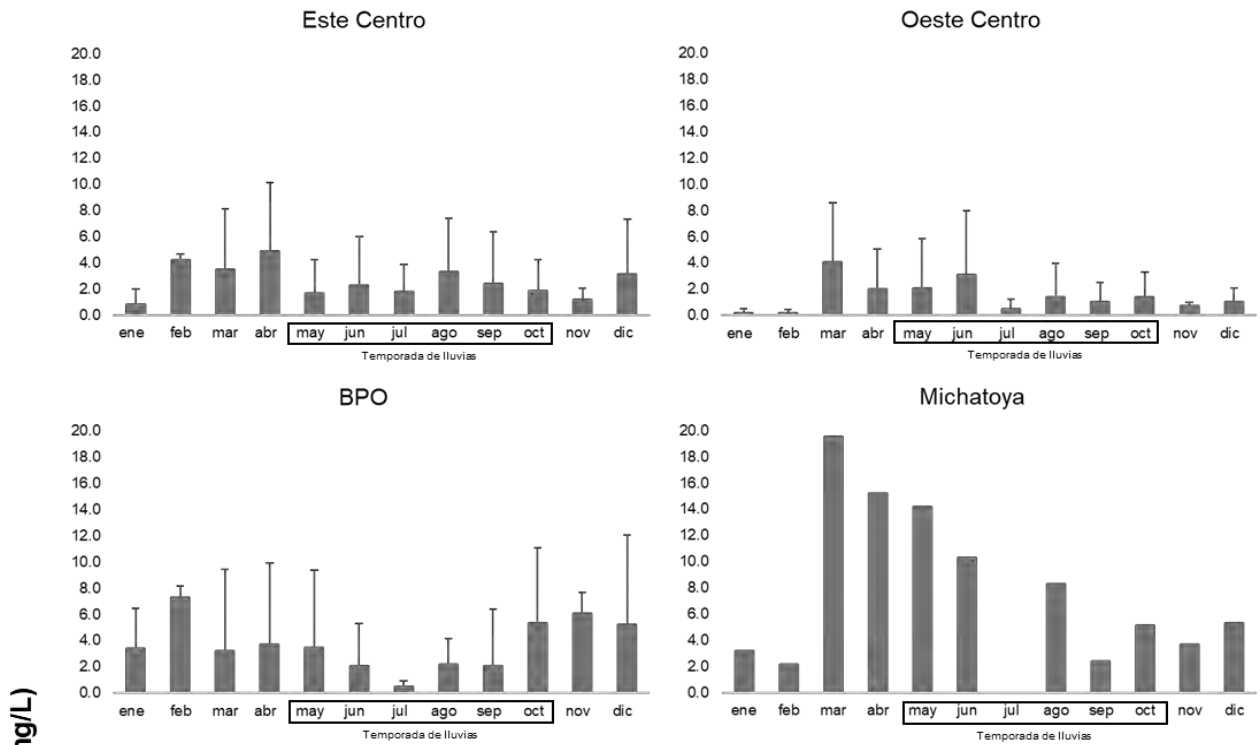
Fig. 24 Perfil vertical de temperatura del Lago Amatitlán en el año 2017

Oxígeno Disuelto (O₂)

En promedio (considerando toda la columna de agua), la concentración de oxígeno del lago osciló entre 3.96 a 3.99 mg/L. De los sitios de estudio, la mayor concentración de oxígeno se encontró en el sitio Michatoya con 8.11 y 7.82 mg/L para los años 2016 y 2017 respectivamente, se puede observar que en este sitio, esta concentración varió ligeramente de un año con otro, por ejemplo, en los meses de enero y febrero los valores fueron menores (con una diferencia de 6.42 y 7.48 mg/L) en el 2016, mientras que en octubre y noviembre los valores fueron mayores (con una diferencia de 4.96 y 3.45 mg/L) en el mismo año. El sitio Oeste Centro presentó las más bajas concentraciones en promedio, oscilando con valores entre 1.46 y 1.64 mg/L en los mismos años (ver Fig. 25).

En general, el sistema se encontró oxigenado en la región epilimnética en los 4 sitios de estudio para los dos años de muestreo. Los sitios Este Centro y Oeste Centro estuvieron caracterizados por una oxiclina bien diferenciada desde la región epilimnética entre 2 a 20 mg/L (noviembre y mayo respectivamente). En el metalimnión se encontraron valores de anoxia (valores < 1 mg/L) a partir de los 6 metros de profundidad en casi todos los meses a excepción de noviembre en el sitio Oeste Centro, pues desde la superficie tuvo valores con anoxia de 0.71 y 0.83 mg/L (ver Figs. 26a, 26b, 27a y 27b). El sitio BAHÍA PLAYA DE ORO tuvo un rango de oxígeno disuelto a nivel superficial que varió entre 2 a 15 mg/L en junio y abril respectivamente en ambos años (ver Figs 26c y 27c).

Lago Amatitlán 2016



Lago Amatitlán 2017

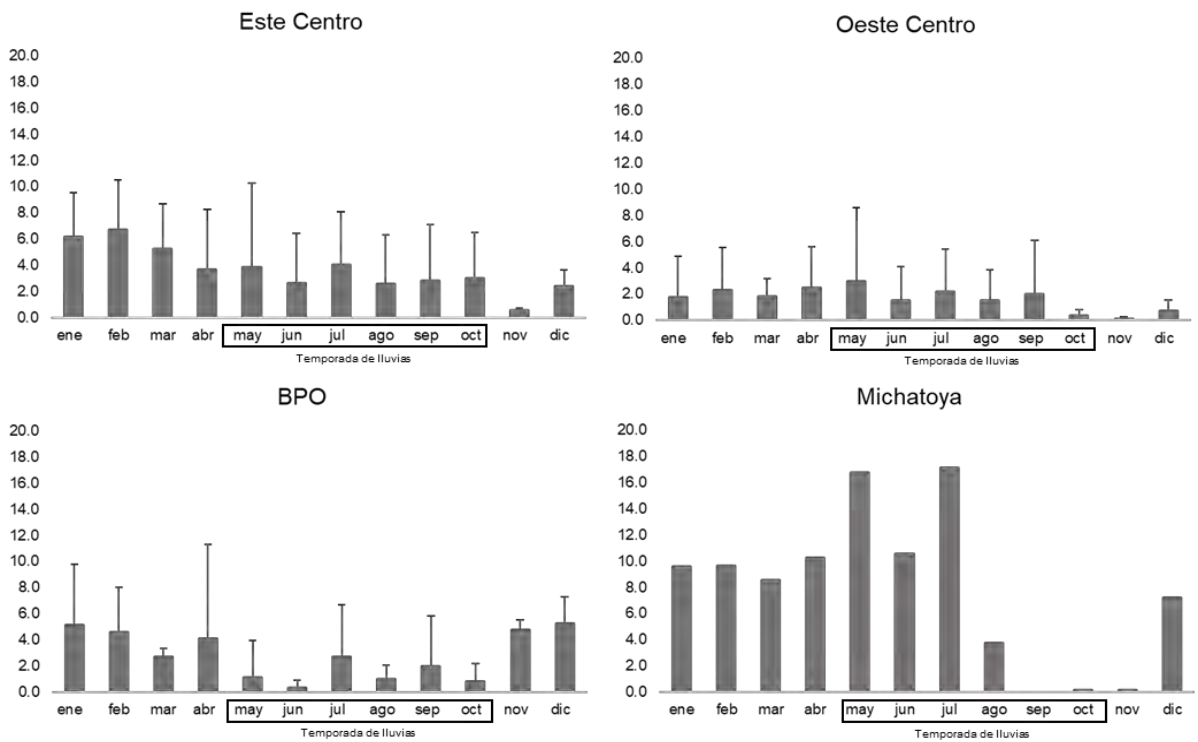


Fig. 25 Promedio de concentración de O₂ en los años 2016 y 2017 con desviación estándar. Obsérvese que Michatoya no presenta desviación estándar por ser valores a nivel superficial.

Oxígeno Disuelto (O_2 mg/L) Lago Amatitlán 2016

Secas

Luvias

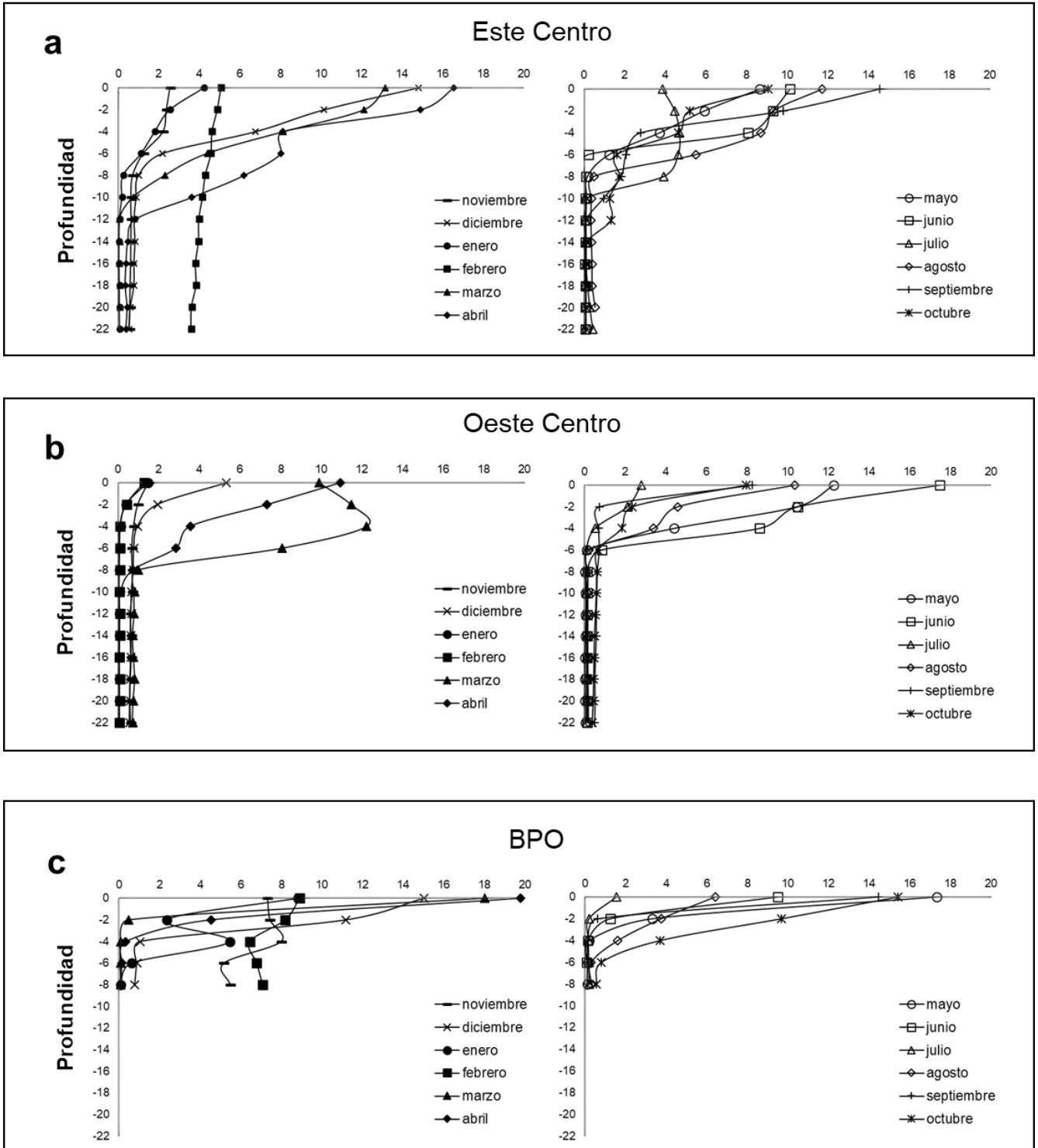


Fig. 26 Perfil vertical de concentración de oxígeno en mg/L en el año 2016.

Oxígeno Disuelto (O_2 mg/L) Lago Amatitlán 2017

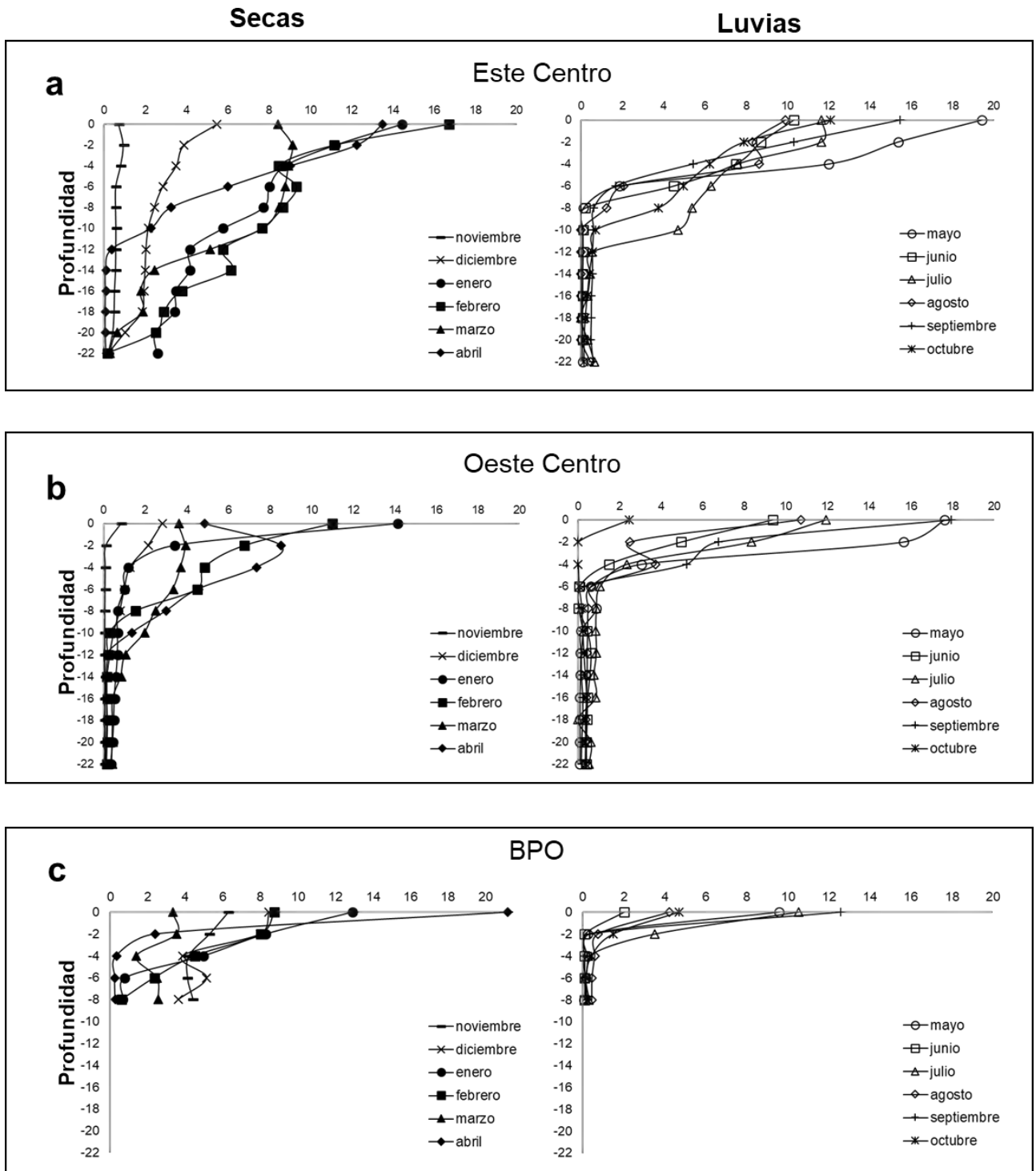


Fig. 27 Perfil vertical de concentración de oxígeno en mg/L en el año 2017.

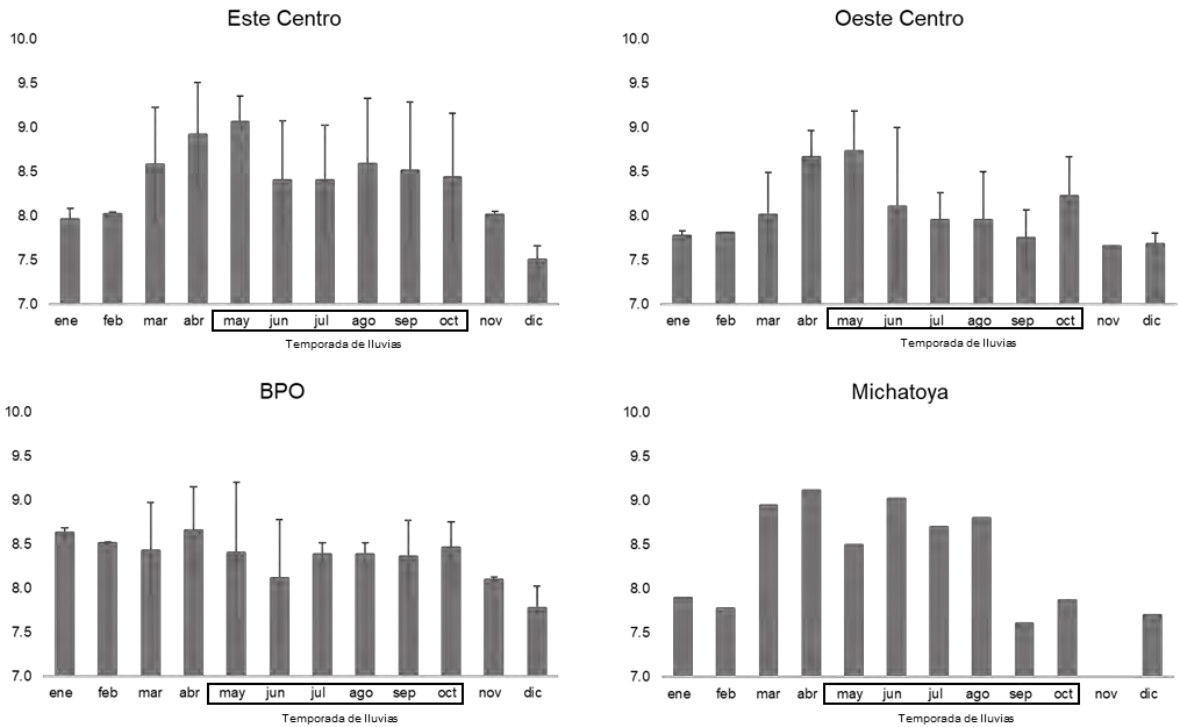
pH

Este parámetro no tiene tanta variabilidad, ya que, en promedio contemplando la columna de agua, todos los sitios se encontraron con valores básicos oscilantes entre 8 a 9. Sin embargo, los valores más altos siempre estuvieron presentes en la temporada de lluvias para ambos años, no obstante, Michatoya tuvo valores menores de 8 en octubre, noviembre y diciembre en ambos años (ver Fig. 28).

Para el año 2016, los meses con mayor valor de pH fueron mayo y abril en Este Centro, Oeste Centro, Bahía Playa de Oro y Michatoya, con valores de 9.1, 8.7, 8.7 Y 9.1 respectivamente; mientras que los más bajos fueron registrados en diciembre y noviembre en todos los sitios de estudio con valores entre 7.5 a 7.8, como se puede observar en la figura 29.

El comportamiento de este parámetro es ligeramente diferente en el año 2017, pues los registros más altos estuvieron en los meses de julio en Este Centro y Michatoya que tuvieron valores de pH de 9 y 9.48 respectivamente, junio en Oeste Centro con 8.7, abril en Bahía Playa de Oro con 8.7. De manera general, este año tuvo los registros más altos de pH comparados con el año anterior, como se observa en Este Centro y en Oeste Centro se observa bien definido el aumento de pH en temporada de secas comparado con el 2016. Michatoya es el sitio que tuvo valores más altos de pH (ver Fig. 28).

Lago Amatitlán 2016



pH

Lago Amatitlán 2017

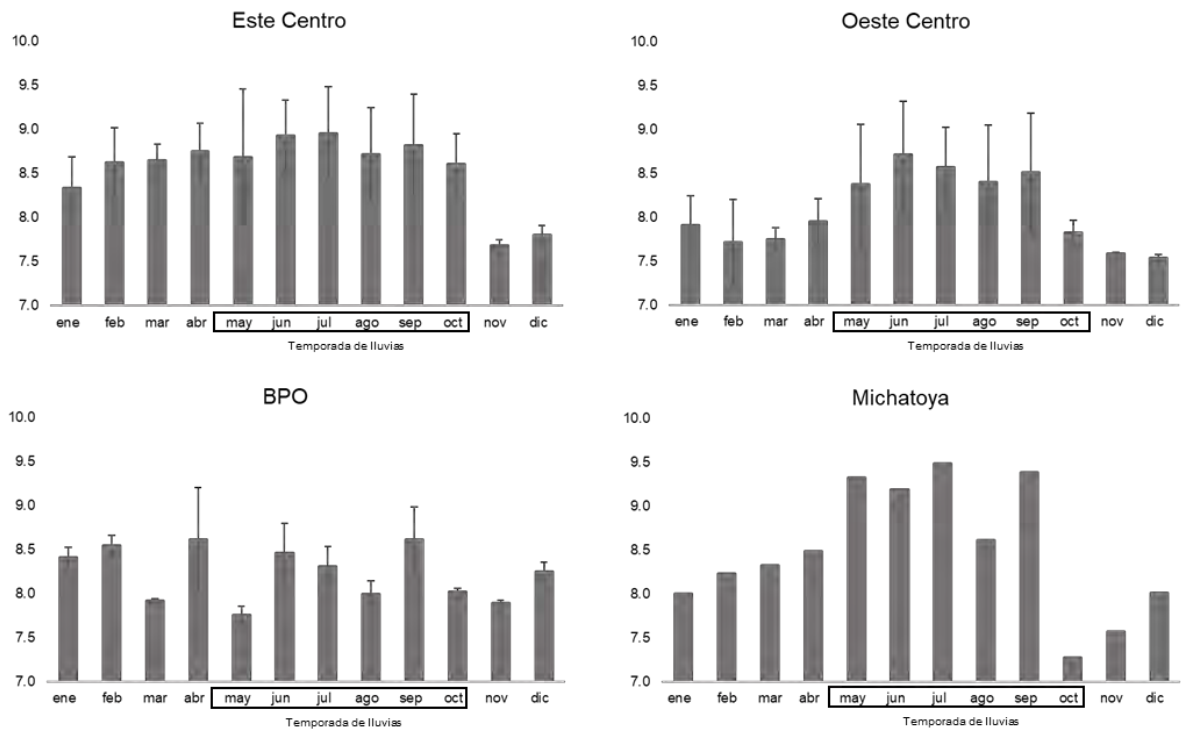


Fig. 28 Promedio de pH en los años 2016 y 2017 con desviación estándar. Nótese que en noviembre de 2016 en Michatoya el valor fue 0 pues no se obtuvo el registro de este parámetro en esa fecha, del mismo modo, este sitio no presenta desviación estándar.

Conductividad

El lago se caracterizó por presentar comportamiento homogéneo en las regiones epilimnética y metalimnética principalmente en la temporada de secas, mientras que en la temporada de lluvias se pueden observar estratificaciones a lo largo de la columna de agua (ver Figs. 29 y 30). Los valores oscilaron entre 550 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a nivel superficial en donde el valor más bajo registrado fue en el sitio Este Centro (556 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en noviembre del 2016 y el más alto en Oeste Centro en abril del 2017, con un valor de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ver Figs. 29a y 30b).

La conductividad aumentó aproximadamente 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a partir de los 20 metros de profundidad, este comportamiento se observa mejor en Este Centro, en la temporada de lluvias del 2016 (ver Fig. 29a) y en ambas temporadas en el 2017 (ver Fig. 30a).

Los meses de noviembre y febrero, como en los otros parámetros fisicoquímicos, se caracterizaron por tener valores homogéneos en toda la columna de agua y es entonces cuando el lago se mezcla (ver Figs. 29 y 30).

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) Lago Amatitlán 2016

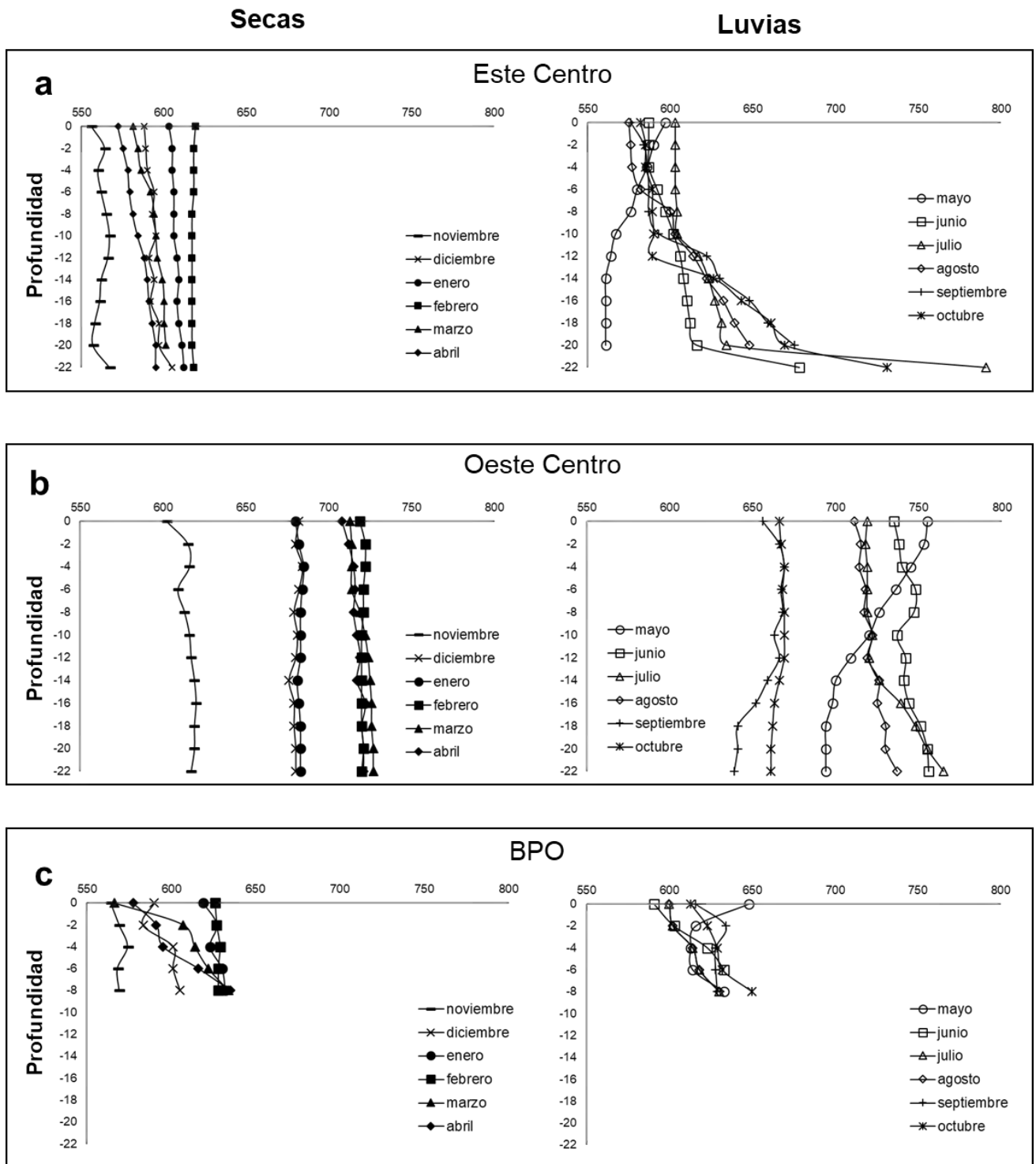


Fig. 29 Perfil vertical de conductividad del Lago Amatitlán en el año 2016.

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Lago Amatitlán 2017

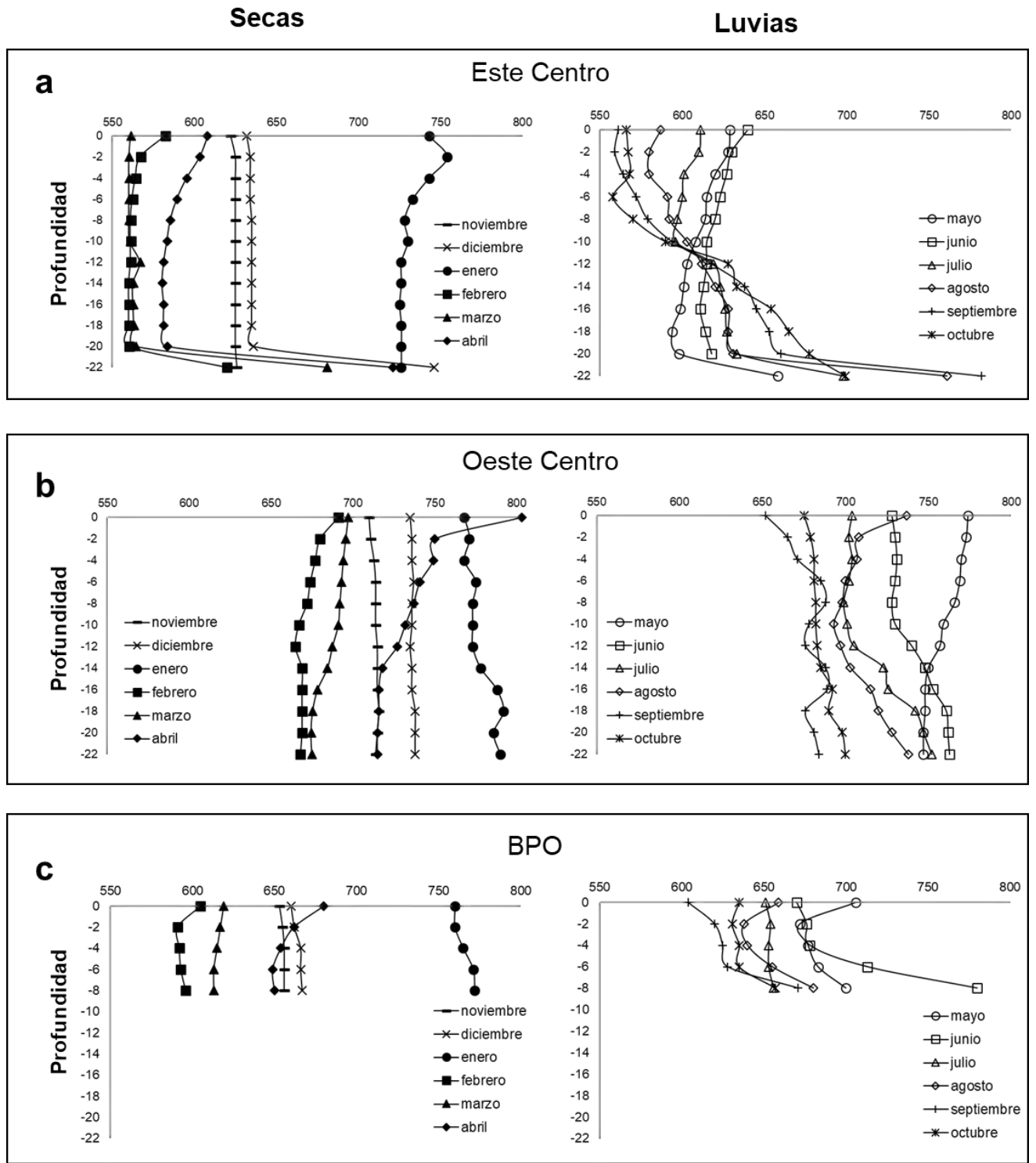


Fig. 30 Perfil vertical de conductividad del Lago Amatitlán en el año 2017.

Salinidad

El Lago Amatitlán presentó condiciones características de sistemas acuáticos dulces, pues el comportamiento de la salinidad no presentó variaciones importantes, debido a que siempre se mantuvo con valores de 0 a 0.1 ppt en los 4 sitios de estudio para los dos años estudiados.

Sólidos Totales Disueltos

Los sólidos totales disueltos tuvieron un comportamiento semejante al de la conductividad, pues en la temporada de secas, el perfil vertical tuvo un comportamiento con valores homogéneos en toda la columna de agua, esto igual se puede observar en varios meses de la temporada de lluvias en ambos años (ver Figs. 31 y 32). En esta temporada, se puede observar varias estratificaciones presentes a diferentes profundidades en cada sitio.

Oeste Centro es el sitio de que caracterizó por tener las variables más mezcladas en ambos años (ver Figs. 31b y 32b).

Al igual que la conductividad en el año 2017, los sólidos totales disueltos en Este Centro se comportaron de una forma similar al contar con estratificaciones importantes, por ejemplo, en febrero se registraron valores similares (320 mg/L) en la región epilimnética y parte de la región metalimnética, a los 14 metros se presentó una estratificación de sólidos totales disueltos, en donde los valores registrados disminuyeron 28 mg/L, y finalmente en la región más profunda del lago a 22 m. el valor aumentó 63 mg/L (ver Fig. 32a), en este mismo sitio, la temporada de secas tuvo la mayor estratificación comparada con los otros sitios y años.

A nivel superficial, el valor más bajo registrado fue en noviembre del 2016 en Este Centro que tuvo un valor de 217 mg/L (ver Fig. 31a) y el mes que tuvo mayor concentración fue enero en el mismo sitio para el año 2017 con 379 mg/L (ver Fig. 32a).

Sólidos Totales Disueltos (STD mg/L) Lago Amatitlán 2016

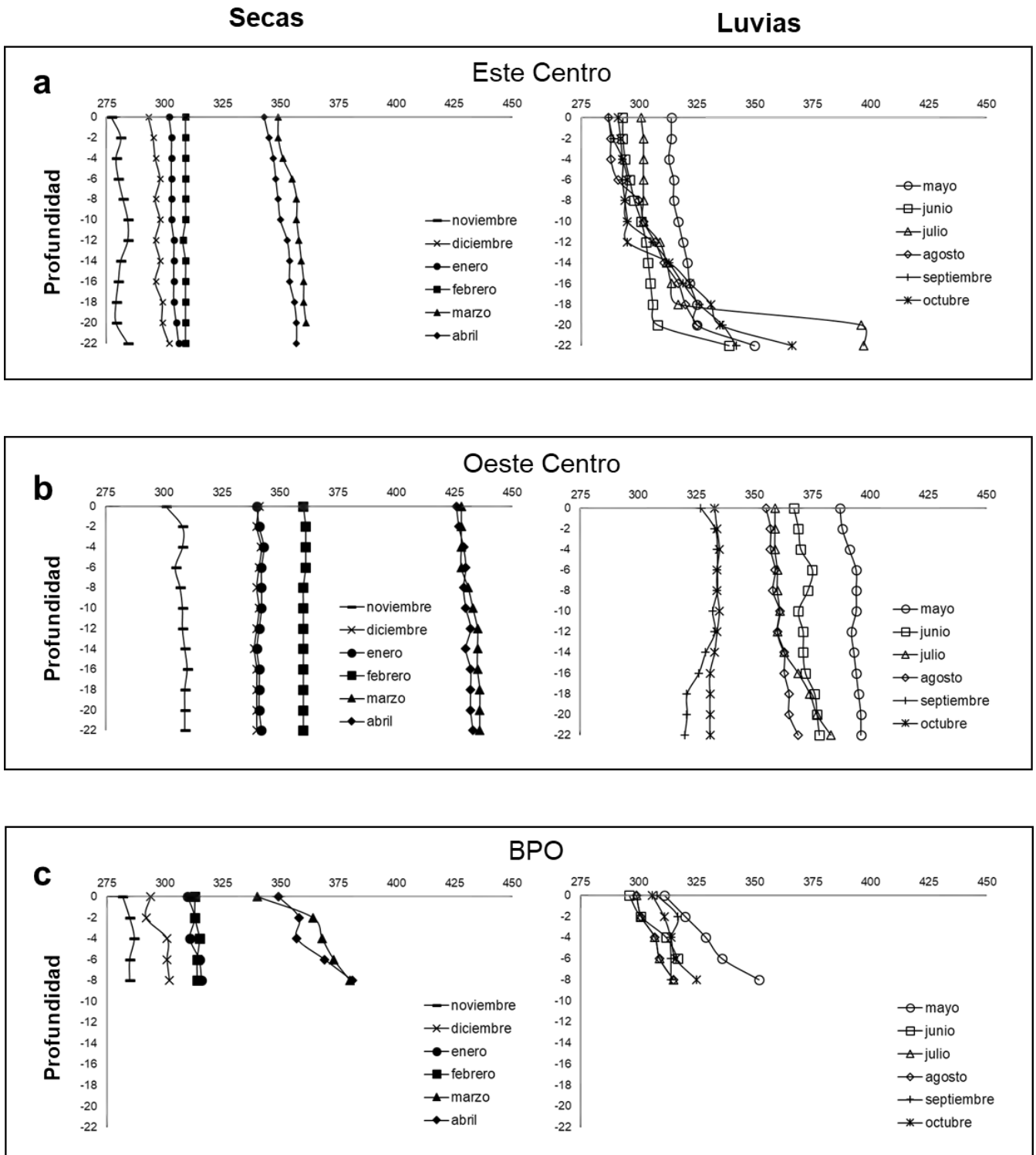


Fig. 31 Perfil vertical de sólidos totales disueltos del Lago Amatitlán en el año 2016.

Sólidos Totales Disueltos (STD mg/L) Lago Amatitlán 2017

Secas

Luvias

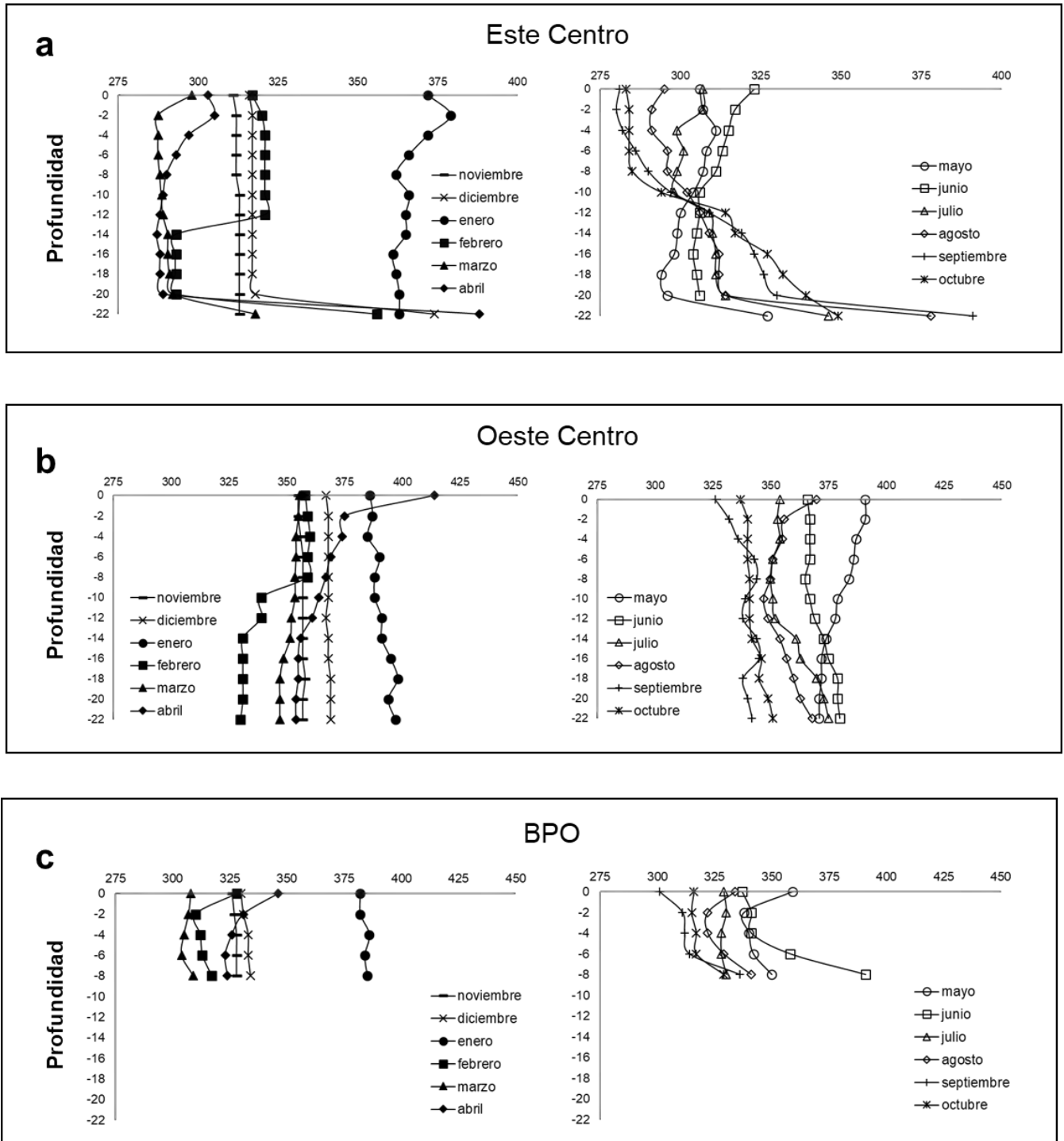


Fig. 32 Perfil vertical de sólidos totales disueltos del Lago Amatitlán en el año 2017.

DISCUSIÓN

Riqueza específica

Este trabajo es un análisis actualizado de las especies encontradas en el Lago Amatitlán reportando un total de 30 especies compuestas por 5 órdenes, 10 familias, 2 subfamilias y 16 géneros, además de estadios larvales (nauplios) y juveniles (copepoditos) en el caso de los copépodos, tomando en cuenta datos de hace 107 años. Se reportan también especies que no habían sido registradas con anterioridad en este sistema acuático como *E. macroura*, *K. americana*, *B. havanaensis*, *T. pusilla*, *Bdelloidea spp*, *M. thermocycloides* y *T. crassus*.

La riqueza específica reportada en este estudio fue de 12 especies en Este Centro, 11 en Oeste Centro, 9 en Bahía Playa de Oro y 7 en Michatoya. En total 15 especies registradas en el lago. Juday (1915) reportó en el año 1910 a 9 especies, comprendidas en 4 órdenes y 7 familias. 2 especies de rotíferos, 5 de cladóceros y 3 de copépodos. Bastarrachea-Díaz (1997), describió en el año 1988 a grandes rasgos la riqueza específica del zooplancton, *Keratella spp*, *Daphnia spp*, *Ceriodaphnia spp*, copépodos calanoides, cyclopoides y estadios naupliares de los copépodos.

De acuerdo con Bastarrachea-Díaz (1997), el sitio Este Centro, hace 29 años, presentó una composición del zooplancton conformada principalmente por el grupo de los copépodos, seguida de los cladóceros y por último de rotíferos. En este estudio, estas poblaciones cambiaron de tal manera que los rotíferos son el grupo dominante (10 especies en total), seguida de los copépodos (2 especies) y solo se registró a un ejemplar de cladóceros. Cabe mencionar que hace 29 años, el pH promedio del sistema era ligeramente básico (7.8).

Especialmente hablando, Este Centro fue el sitio de estudio geográficamente aislado comparado con el resto, no tiene ninguna conexión con ríos, por lo que la circulación del agua es reducida, cabe mencionar que este sitio tiene una profundidad de 24 m (Anónimo, 2015). Considerando estas condiciones geográficas y físicas, Este Centro fue el sitio de estudio con la mayor riqueza de microcrustáceos, solo en este sitio se registró la presencia de *Ceriodaphnia spp*, de *A. dorsalis* y *M. thermocycloides*, lo que le otorga una zonificación entre los demás sitios de estudio.

Existe una diferencia espacial entre *T. cf. Longiseta* y *T. pusilla* pues estuvieron presentes en 3 sitios de estudio con la excepción de Este Centro. Esto es importante ya que con ello se puede estimar el estado trófico del agua, Sládecek (1983) menciona que el género *Trichocerca* se caracteriza por preferir ambientes oligotróficos, por lo que encontrarlos en este sistema con variables ambientales como el pH básico en agua, el comportamiento oxigenado en la superficie del lago y anoxia en la región metalimnética, y la cantidad de sólidos totales disueltos (mayor a 300 mg/L) resulta de utilidad para estimar el estado trófico del lago. En este estudio, dichas condiciones se cumplen, excepto por la concentración de oxígeno disuelto. En la Fig. 27a se observa que, en la temporada de secas de Este Centro del 2017, no se observan valores de anoxia en la región metalimnética a excepción de noviembre, que como se mencionó con anterioridad, es el mes que presentó anoxia. Este comportamiento también se puede observar en Bahía Playa de Oro en la temporada de secas para ambos años (ver Figs. 26c y 27c).

Las comunidades del zooplancton en el sitio Michatoya, presentaron una composición diferente, se encontraron especies con afinidades a ambientes limnéticos como *E. macroura*, *A. fissa* y *A. sieboldi* (Zanatta, *et al.* 2007; Fortaneto y De Smet, 2015), en este sitio se encuentra la entrada del río Mitachoya (de ahí el nombre del sitio) probablemente esto pueda tener efecto sobre la composición de las especies considerando las variables fisicoquímicas en el mes de estudio como la alta concentración de oxígeno disuelto (10.53 mg/L), las temperaturas cálidas tropicales (25.2 °C), y el pH de tipo básico (Lewis, 1996).

Es importante mencionar que, la comunidad del zooplancton pasó de tener representantes con afinidades más oligotróficas y tallas más grandes a comunidades de especies con afinidades meso y eutróficas y tallas menores (Sládecek, 1983; Fortaneto y De Smet, 2015; Gama-Flores, *et al.* 2018). De esta manera, se comprueba la relación del estado trófico del agua con base a las tallas del zooplancton donde se observa que, a mayor nivel de eutrofización, mayor será la abundancia y riqueza del microzooplancton, como los rotíferos, nauplios y copepoditos (Frutos, *et al.*, 2009).

De igual manera, la riqueza específica de talla pequeña aumentó un 75%, ya que, de tener una riqueza de 2 especies (*K. cochlearis* y *F. longiseta*) hace más de 100 años, en el presente estudio se reportan 12, mayormente por rotíferos comprendidos por la

familia Brachionidae. En este estudio, no se reportó a la especie *K. chochlearis*, cabe mencionar que, debido a la tasa de endemismo del género *Keratella*, *K. cochlearis* puede ser fácilmente confundido por otro taxón del mismo complejo de especies (Segers, 2008), por lo tanto, es importante que se sigan realizando trabajos de este tipo, más aún, en lugares donde el conocimiento es escaso, como sería el Lago Amatitlán o en otros lagos tropicales sin conocimiento al respecto.

Los cladóceros también cambiaron temporalmente. Juday (1915) reportó una riqueza de 5 especies de Daphnidos (*D. hyalina*, *C. lacustris*, *C. pulchella*, *B. longirostris*, *C. sphaericus*), Bastarrachea-Díaz (1997), reportó para el año 1988 2 especies, identificadas únicamente a nivel género (*Daphnia spp* y *Ceriodaphnia spp*). En el presente estudio (2016-2017) se registró la presencia de un solo organismo, perteneciente al Género *Ceriodaphnia spp*. Tal parece que, a lo largo de 107 años, *Ceriodaphnia spp*. continuó teniendo presencia en el lago, aunque con una abundancia excesivamente baja. El género y especies de *Ceriodaphnia* han sido registradas en diversos cuerpos de agua en México y es considerado como un género con amplia distribución (Elías-Gutiérrez, *et al.* 2008; Cervantes-Martínez, *et al.* 2012).

Por otro lado, la escasa riqueza de cladóceros y copépodos puede deberse a que géneros como *Daphnia* y *Ceriodaphnia* cohabitan con miembros de la familia de rotíferos Brachionidae, sin embargo, están en una competencia constante por alimento, pues, aunque se puedan alimentar de rotíferos, también tienen la misma dieta que los brachionidos, el tamaño de la fuente de alimento influye en las poblaciones de cladóceros y copépodos. En condiciones de laboratorio, se ha observado que con la presencia de *Daphnia spp* las poblaciones de rotíferos como *B. havanaensis* y *B. calyciflorus* disminuyen su abundancia considerablemente al ser depredados por *Daphnia spp* (Gama-Flores, *et al.* 2018). También, se conoce que el género *Daphnia* es ampliamente estudiado y utilizado para medir la toxicidad en cuerpos de agua, entre ellos, la carga de nutrientes (Elías-Gutiérrez, 2014), pero en géneros como *Ceriodaphnia*, aun no se han tomado en cuenta para ensayos de toxicidad, lo cual puede ser tomado como una ventana de oportunidad para aplicar este tipo de estudios en regiones tropicales o pantropicales.

En cuanto a la riqueza específica de los copépodos, se puede observar un comportamiento temporal importante. Juday (1915) reportó la riqueza específica con 3 especies de copépodos (*M. albuquequensis*, *E. serrulatus* y *T. prasinus*). Wilson (1941),

describió por primera vez a la especie endémica *M. amatitlanensis*, Brandorff (2012) reportó la presencia de *A. dorsalis* en los años 2005 y 2008 y, finalmente en este trabajo (2016-2017), se reportó nuevamente a *A. dorsalis* y especies no descritas para este sitio *M. thermocycloides* y *T. crassus*.

Desde la descripción de *M. amatitlanensis* en el año 1941, no se ha vuelto a registrar por otros autores, por lo que pudiera tratarse de una especie extinta (Gutiérrez-Aguirre, *et al.*, 2020). En la descripción específica de *M. amatitlanensis*, Wilson (1941) señala que tiene similitudes con *M. albuquerqueensis* (especie neotropical) y *Mastigodiptomus purpureus* Marsh, 1907 (especie endémica de Cuba), de igual manera, puntualiza que *M. albuquerqueensis* apareció en la misma muestra donde se tomaron individuos para la descripción de *M. amatitlanensis* en la misma fecha.

En este estudio, se registraron a dos especies de copépodos cycloides, considerados como exóticos. De acuerdo con Gutiérrez-Aguirre, *et al.* (2006) *M. thermocycloides* es una especie afroasiática introducida a América, posiblemente por actividades humanas como la agricultura. Esta especie ha sido reportada en sistemas epicontinentales del estado de Chiapas, estado fronterizo entre México-Guatemala. Por otro lado, se ha estudiado el potencial ecológico de especies del género *Mesocyclops* como un control de plagas de mosquitos, por ejemplo, de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762), un díptero transmisor de enfermedades como el dengue y la fiebre amarilla, debido a la estructura de sus apéndices bucales, algunas especies del género *Mesocyclops*, son capaces de depredar a los primeros estadios larvales de los mosquitos (Suárez-Morales, *et al.* 2003; Marten y Reid, 2007).

El otro copépodo exótico fue *T. crassus*. Al igual que *M. thermocycloides* es una especie distribuida en latitudes tropicales en África, Australia y Asia (Reid, 1989; Gutiérrez-Aguirre y Suárez-Morales, 2000; Doan-Dang, *et al.*, 2015). *T. crassus* se considera una especie introducida a la región occidental del planeta, en donde su primer registro en México fue en las lagunas del estado de Tabasco, se considera que las causas de su introducción a esta región son similares a *M. thermocycloides*, por actividades humanas relacionadas con la agricultura y acuicultura (Gutiérrez-Aguirre y Suárez-Morales, 2000; Connolly, *et al.*, 2017).

Los registros del zooplancton que habitan en el Lago Amatitlán son recientes debido a que solo se han hecho estudios de la diversidad específica del zooplancton en cuerpos

de agua cercanos al lago o, en sistemas epicontinentales de Guatemala, pero no se ha tenido un acercamiento más detallado a nivel específico en este sitio de estudio. A pesar de ello, *F. longiseta* ha sido reportada por Juday (1915) *Ceriodaphnia spp* por Juday (1915) y Bastarrachea-Díaz (1997) y *A. dorsalis* por Brandorff (2012).

Esta última especie, *A. dorsalis* es una especie originalmente descrita en Estados Unidos, es ampliamente distribuida en el continente americano principalmente en latitudes tropicales, desde el sur de Centroamérica al norte de Sudamérica, tiene una alimentación selectiva del fitoplancton, pudiendo alimentarse también de bacterias. Se puede encontrar en ambientes eutrofizados (Reid, 2007). La diversidad de esta especie es tan amplia que es incluso una especie invasiva en sistemas acuáticos de Asia (Papa, *et al.*, 2012). Por lo que es una especie compleja para estudiar a nivel morfológico debido a sus muchas variaciones, de acuerdo con Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez (2001) esta especie primero fue descrita como *Arctodiaptomus dampfi* (Marsh, 1907), y *Diaptomus dorsalis* (Marsh, 1907); sin embargo, de acuerdo con Reid (2007), también fue llamada *Diaptomus proximus* (Kiefer, 1936) y *Diaptomus alter* (Herbst, 1960). Nuevamente, se hace hincapié, en la importancia del estudio del zooplancton en regiones escasamente estudiadas.

Abundancia específica

La abundancia específica a nivel superficial de Juday (1915) en el año 1910 fue de rotíferos (0.3 Ind/L), la abundancia de los cladóceros fue la mayor (14.4 Ind/L) y los copépodos tuvieron una abundancia de (11.6 Ind/L). En el análisis cuantitativo de este trabajo en el año 2017, la mayor abundancia fue de los rotíferos (2,090 Ind/L), esto representa al 98.66% de la abundancia total del zooplancton y los copépodos presentaron una abundancia de 28.39 Ind/L, que es el 2.66% de la abundancia total. Bastarrachea-Díaz (1997), calculó la abundancia del zooplancton de la columna de agua en el sitio Este Centro, tuvo una abundancia de rotíferos de 138 Ind/L, de cladóceros con 425 Ind/L y copépodos con 4,568 Ind/L, este último presentó la abundancia más alta en el sitio de estudio. Mientras que, en este trabajo, el comportamiento temporal de estos organismos en el mismo sitio cambió a tener valores únicamente de rotíferos y copépodos con 141.4 y 12.4 Ind/L respectivamente.

En este lapso, de 1910 a 1988 (78 años de diferencia), y de 1988 al 2017 (29 años de diferencia), en total una diferencia de 107 años, se puede observar el cambio espacio-temporal de las comunidades del zooplancton, pues en el lago, la abundancia de los cladóceros y copépodos decreció considerablemente, mientras que la comunidad de rotíferos aumentaron en riqueza y abundancia. Esto puede ser explicado por la preferencia de hábitat y hábitos alimenticios de estos grupos, con base a las condiciones ambientales (Sládecek, 1983; Fortaneto y De Smet, 2015; Gama-Flores, *et al.* 2018).

En cuanto a ambos grupos de rotíferos (Bdelloidea y Monogononta), se caracterizan por una distribución cosmopolita, sin embargo, se conoce que algunos de estos organismos tienen una distribución muy limitada, incluso llegando a encontrar especies endémicas. La mayor tasa de endemismo está ubicada en las regiones tropicales de América (Segers, 2008; Fortaneto y De Smet, 2015). Según Cervantes-Martínez, *et al.* (2012) y Fortaneto y De Smet (2015), el 85% de los rotíferos tienen un origen continental, por lo que se caracterizan por vivir en sistemas epicontinentales dulces y de ahí se explica la gran diversidad de especies en el mundo con más de 2,000 especies registradas hasta el momento (Fortaneto y De Smet, 2015).

Las especies de rotíferos identificadas en este trabajo tienen un origen neotropical por su preferencia de hábitats con ambientes cálidos. Por ejemplo, *B. havanaensis* es una especie americana y *Keratella* es el género con el mayor porcentaje de endemismo que

representa al 52%. (Fernando y Zankai, 1981; Segers, 2008; Gómez-Márquez, *et al.*, 2013). La especie *A. sieboldi* tiende a vivir en ambientes acuáticos con alta concentración de materia orgánica suspendida (como los sólidos totales disueltos), ambientes altamente oxigenados y es poco frecuente en ambientes alcalinos (valores con pH mayores a 7) (Gómez-Márquez *et al.* 2013), por la forma del mástax de tipo incundada, es una especie carnívora e incluso caníbal, se conoce su relación con la ingesta de la especie *B. calyciflorus* (Fortaneto y De Smet, 2015; Gilbert, 2018). Esto se relaciona con los datos del sitio Bahía Playa de Oro (ver Fig. 20), donde la abundancia de *A. sieboldi* es menor comparada con la de su presa *B. calyciflorus* (2.33 y 85.53 Ind/L respectivamente), debido a que *B. calyciflorus* tiene las condiciones favorables para la vida, como un pH básico de 8.4, sólidos totales disueltos de 334 mg/L y una concentración de oxígeno disuelto (de 2 mg/L). (Sládecek, 1983)

Por otro lado, con base a las descripciones morfológicas realizadas por Fortaneto y De Smet (2015) y Guerrero-Jiménez *et al.* (2015), mencionan que el mástax de la familia Brachionidae y Epiphanidae es de forma malada, los organismos que presentan este tipo de mástax, se caracterizan por ser capaces de filtrar su fuente de alimento y de acuerdo con Gómez-Márquez *et al.* (2013), la abundancia de estos organismos está asociada a las altas cantidades de materia orgánica en el sistema, viviendo en ambientes meso-eutrofizados.

Las características antes mencionadas concuerdan con las 5 especies que estuvieron presentes en todos los sitios de estudio (*B. angularis*, *B. calyciflorus*, *B. havanaensis*, *F. longiseta* y *K. americana*). De acuerdo con Ejsmont-Karabin (2012), la abundancia y riqueza de rotíferos puede servir para establecer el estado trófico, debido a que el incremento de estas poblaciones ya es un indicativo de eutrofización de los cuerpos de agua. Esto se debe a diversos factores que tienen que ver con la estrecha relación con los parámetros fisicoquímicos, como la temperatura, pues según Gómez-Márquez, *et al.* (2013), la temperatura óptima para la reproducción de los rotíferos oscila en valores de entre 15 a 20°C. Sin embargo, otras variables son determinantes para explicar la abundancia del microzooplancton conformado por rotíferos y estadios naupliares de copépodos que tienen una abundancia mayor que el zooplancton de tallas mayores como los cladóceros y copépodos, como la concentración de oxígeno del lago a nivel superficial que se caracterizó por estar oxigenado en los primeros metros de profundidad, esto es causado por la presencia de fitoplancton en el lago (Alva-Martínez, *et al.*, 2007; Pérez-Morales, *et al.*, 2020) y, de acuerdo a Sládecek (1983) y Conde-

Porcuna, *et al.* (2004), la fuente de alimento principal de los rotíferos son microalgas, detritos y bacterias, llegando incluso a tener un tamaño aproximado de 10 μm , sin embargo, esta regla no es exclusiva, porque existen rotíferos de tallas mayores como *A. sieboldi* que, como se mencionó anteriormente, tiende a alimentarse de otros rotíferos de tallas menores (Fortaneto y De Smet, 2015).

En este estudio, debido a la alta abundancia del microzooplancton como los rotíferos que representa el grupo dominante en el lago, se puede asumir, que probablemente la fuente de alimento no alcanza el tamaño para tallas mayores como cladóceros y copépodos (Perbiche-Neves, *et al.*, 2013; Gama-Flores, *et al.*, 2018).

También se puede observar que el pH siempre tuvo rangos básicos (entre 8 y 9), Sládeček (1983) menciona que es común que con estos valores de pH se encuentre una alta abundancia de rotíferos, aunque muy poca riqueza específica, sin embargo, esta relación solo se cumple con *B. havanaensis* y *K. americana*, pues son los que mostraron mayor abundancia en los 4 sitios de estudio. Estos valores básicos de pH en el sistema acuático son causados por la producción fotosintética del fitoplancton, donde al remover el CO_2 para esta actividad, el pH tiende a aumentar, debido al secuestro del CO_2 , y la no liberación de iones hidrogeniones al medio (Lampert y Sommer, 2008) por lo que se puede considerar un sistema moderadamente básico o con alcalinidad moderada. Adicionalmente, la presencia de organismos herbívoros y filtradores es a causa de la presencia de productores primarios como el fitoplancton (Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo, 2008).

Por otro lado, probablemente las comunidades del zooplancton tuvieron una relación “*top-down*” pues, de acuerdo con Alexander y Hotchkiss (2010), con el aumento de la carga de nutrientes suspendida en el agua, más rápido se obtiene la producción primaria, que repercute directamente en la concentración de oxígeno disuelto, aumentándola a nivel superficial, pudiendo observar turbidez en el agua (aguas menos transparentes y pH con valores básicos), lo que propicia a una mayor abundancia de organismos consumidores de fitoplancton dominados principalmente por microzooplancton, sin embargo estudios más periódicos e *in situ*, podrían ayudar a soportar lo anterior.

Cuadro ambiental

La temperatura del lago osciló entre los 22 a 28 °C en ambos años, estos valores son característicos de temperaturas de lagos tropicales de acuerdo con Lewis (1996). El lago presentó aguas bien oxigenadas la mayor parte del período de estudio, con concentraciones de entre 2 a 18 mg/L, valores pertenecientes a lagos de tropicales de alta montaña, también se encontraron valores de anoxia a partir de los 6 metros de profundidad (Casallas y Gunkel, 2001). Tuvo valores de saturación de oxígeno (O₂%), con valores oscilantes entre 65 a 129% en Bahía Playa de Oro (valor más bajo) y Este Centro (valor más alto) respectivamente, ambos en el año 2017, esto refuerza la condición eutrófica del lago (Gunkel, 2000 y Scasso, *et al.*, 2001). De acuerdo con la conductividad a nivel superficial con valores entre 550 a 800 µS/cm, el lago es característico de sistemas dulceacuícolas (Cervantes-Martínez, *et al.*, 2009). El pH tuvo valores básicos (entre 8 a 9), en donde en la temporada de lluvias los valores fueron ligeramente más altos, valores relacionados con lagos neotropicales y los sólidos totales disueltos tuvieron valores que oscilaron entre 275 a 400 mg/L. estos valores de pH y sólidos totales disueltos son indicadores de sistemas eutrofizados de acuerdo con Sládecek (1983) y Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008).

Un dato importante por mencionar es que, a lo largo de más de 100 años, la temperatura aumentó 1.85°C, lo que causó un cambio en la estructura poblacional del zooplancton del Lago Amatitlán pues, como se sabe, el zooplancton es utilizado como un bioindicador por su comportamiento a estresores ambientales como lo es el cambio de la temperatura (Gutiérrez-Aguirre, *et al.* 2006; Elías-Gutiérrez *et al.* 2008 y Cervantes-Martínez, *et al.* 2012).

Análisis del estado trófico del Lago Amatitlán

En este estudio, resulta útil la implementación de índices para el cálculo del estado trófico en cuerpos de agua por medio de la abundancia de rotíferos. Según Sládecek (1983), la abundancia de rotíferos en cuerpos de agua de alta montaña puede ser menor de 20 Ind/L, esto concuerda con los valores de abundancia obtenidos para los rotíferos, a excepción de *K. americana* y *B. havanaensis* donde la abundancia se considerablemente mayor, como se observa en la figura 22. Este mismo autor establece una fórmula para estimar índice del estado trófico del agua, utilizando a rotíferos como bioindicadores, más concretamente especies pertenecientes al género *Trichocerca* y *Brachionus*. Ejsmont-Karabin (2012) también establece una formula basada en el Índice del Estado Trófico (TSI) de Carlson, pero aplicada a rotíferos.

Con base a estos índices, se pudo determinar el estado trófico actual del Lago Amatitlán, tomando en cuenta que el análisis cuantitativo se realizó a nivel superficial. Para el índice de Sládecek, el valor de $Q_{B/T}$ fue de 10.14 y el valor de TSI_{ROT} fue de 144.86, ambos valores entran dentro de los rangos de cuerpos de agua eutróficos e hiper eutróficos. Con el TSI también se pudo calcular el estado trófico del lago en el año 1910 ($TSI = 149.10$) y del año 1988 ($TSI 123.84$) contemplando toda la columna de agua, se observa así que el estado eutrófico del lago es un problema de hace más de 100 años.

Esto hace sentido considerando que la capital de Guatemala se trasladó a su posición actual hace un par de siglos (Richardson-Varas, *et al.*, 2015) y que el río principal (Río Villalobos) es el principal ingreso de agua al lago, que pasa primero por varios departamentos de Guatemala (Anónimo, 2015). El Informe Nacional del Desarrollo Humano (INDH) reportó que para el 2010 la población del departamento fue de 3,103,685.01 habitantes (Anónimo, 2020), entonces el impacto humano pudiera considerarse como un factor que promueve a la eutrofización del Lago Amatitlán. Siguí (2016) señala que las necesidades socioeconómicas y las actividades comerciales e industriales son las responsables de la generación de desechos en forma de agua residual contaminada que ha repercutido negativamente en el impacto de los sistemas acuáticos, entre ellos, el Lago Amatitlán.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta datos actualizados sobre la riqueza y abundancia específica del Lago Amatitlán y su comportamiento con base a los parámetros fisicoquímicos. Conocer estos bioindicadores permitirá realizar la toma de decisiones pertinentes para reducir la eutrofía del lago o prevenir que esta siga avanzando.

Por lo que se concluye que:

- Existen cambios temporales en el lago, pues la dominancia del microzooplancton como los rotíferos, nauplios y copepoditos es evidente comparado con estudios de hace más de 100 años. También el aumento de la temperatura a lo largo del tiempo es una señal del cambio del comportamiento de grupos zooplanctónicos que cohabitan en el lago, debido a que un grado centígrado de diferencia es suficiente para que estas comunidades presenten cambios en su estructura.
- En cuanto a los cambios espaciales, existen sitios con un comportamiento diferente, como Este Centro, el cual se caracterizó por la mayor riqueza específica, aunque presentó la menor abundancia. también este fue el único sitio en donde se identificaron a los microcrustáceos (cladóceros y copépodos). Otro sitio que también presentó cambios espaciales fue Michatoya, pues debido a sus condiciones físicas, (menos de dos metros de profundidad y ser una entrada del río), los parámetros fisicoquímicos tuvieron un comportamiento diferente comparado con los otros sitios, como se puede observar, por ejemplo, con el pH, concentración de oxígeno disuelto y la temperatura del agua. Esto también se reflejó por la ausencia de especies de características epilimnéticas.
- Debido al comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y la abundancia de los rotíferos se puede concluir que la condición actual del lago se considera eutrófica tendiendo a ser hipereutrófica. Si las condiciones llegan al último punto, las poblaciones del microzooplancton se verán comprometidas y la producción fitoplanctónica será mayor, acompañado por una mayor abundancia de bacterias, perdiendo así la cadena trófica que provee de vida al Lago Amatitlán.
- El estado trófico de este sistema determina la estructura poblacional del zooplancton. La eutrofización se ve reflejada con el comportamiento del

zooplancton, los cladóceros y copépodos son escasos comparados con la riqueza y abundancia de los rotíferos.

- El foco de alarma del estado trófico del lago más importante es la ausencia de la especie endémica *M. amatitlanensis* y la presencia de las dos especies exóticas (*M. thermocycloides* y *T. crassus*).
- Las especies exóticas descritas no necesariamente significa una alteración negativa para el lago, ya que se pudiera utilizar a *M. thermocycloides* como un biocontrol para la plaga del mosquito.
- El zooplancton epicontinental en latitudes tropicales es escasamente estudiado, debido a que la mayoría de los trabajos limnológicos se han enfocado principalmente en los parámetros fisicoquímicos del agua, sin contemplar que el zooplancton reacciona a estos cambios.
- La información aquí expresa, representa a un listado actualizado de la riqueza del zooplancton que existe en el lago, debido a que actualmente no existe ningún reporte específico, ni estudio taxonómico que identifique a las comunidades del zooplancton del Lago Amatitlán en una escala temporal.

LITERATURA CITADA

- Alva-Martínez, A. F., Sarma, S. S. S y Nandini, S. 2007. Population dynamics of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus havanaensis* (Rotifera) on mixed diets with *Microcystis aeruginosa* and green algae. *Hidrobiologica*. 17: 59-67.
- Alexander, M. L y Hotchkiss, S. C. 2010. *Bosmina* remains in lake sediment as indicators of zooplankton community composition. *J. paleolimnol.* 43: 51-59.
- Anónimo. 2008. *Guatemala y su Biodiversidad*. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 650.
- Anónimo. 2015. *Antecedentes – Historia*. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA). 3.
- Anónimo. 2015. *Calidad de agua de la Cuenca y Lago de Amatitlán*. División de agua de la Cuenca y Lago de Amatitlán. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA). 32.
- Anónimo. 2020. <https://desarrollohumano.org.gt/estadisticas/estadisticas-genero/poblacion-total-por-sexo-segun-departamento/>. Población total por sexo según departamento. Informe Nacional del Desarrollo Humano. Fecha de consulta: 6 de abril de 2020.
- Balasubramanian, A. 2015. Classification of Lakes. *University of Mysore*. 8.
- Bastarrachea-Díaz, M. 1983. Modelo para estimar la calidad del agua en los lagos: el lago de Amatitlán. *International Association of Hydrobiological Sciences*. 152: 187-202.
- Bastarrachea-Díaz, M. 1997. *El lago de Amatitlán: Década de estudios limnológicos 1985-1995*. Guatemala, Guatemala. Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala. 41 p.
- Brandorff, G. O. 2012. Distribution of some Calanoida (Crustacea: Copepoda) from the Yucatán Peninsula, Belize and Guatemala. *Rev. Biol. Trop.* 60: 1-16.

- Casallas, J. E y Gunkel, G. 2001. Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago de San Pablo, Ecuador. *Limnetica*. 20: 215-232.
- Cervantes-Martínez, A. 2005. *Análisis limnológico de dos sistemas cársticos (cenotes) de la Península de Yucatán, México con énfasis en la variación espacial y temporal del zooplancton*. Tesis de Doctorado, El Colegio de las Frontera Sur, Chetumal, México. 102 p.
- Cervantes-Martínez, A., Mazeta-Barrera, M y Gutiérrez-Aguirre, M. A. 2009. Limnología básica del lago cárstico turístico Cenote Azul en Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 19(2): 177-180.
- Cervantes-Martínez, A., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Delgado Blas, V. H y Ruiz-Ramírez, J. D. 2012. *Especies de zooplancton dulceacuícola de Cozumel*. México, México. Desarrollo Gráfico Editorial. 58 p.
- Chiquín, L. G y Requena, J. E. 2001. *Mapeo Geológico de superficie del cuadrángulo Granados, escala 1:50,000*. Guatemala, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 49 p.
- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E y Morales-Baquero, R. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los sistemas lénticos. *Ecosistemas*. 13: 23-29.
- Connolly, J. K., Watkins, J. M., Hinchey, E. K., Rudstam, L. G y Reid, J. W. 2017. New cyclopoid copepod (*Thermocyclops crassus*) reported in the Laurentian Great Lakes. *International Association for Great Lakes Research*. 1-6.
- De los Ríos-Escalante, P y Carreño, E. 2012. First observations on reproductive characteristics on Chilean Patagonian populations inland water Calanoids Copepods. *Gayana*. 76: 46-51.
- Doan-Dang, P., Van-Khoi, N; Nyuyet-Nga, L. T., Ngoc-Thanh, D y Thanh-Hai, H. 2015. *Identification Handbook of Freshwater Zooplankton of the Mekong River and its Tributaries*, Mekon River Commission, Vientiane. 207 p.

- Elías-Gutiérrez, M., Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Silva-Briano, M; Granados-Ramírez, J. G y Garfias-Espejo, T. 2008. *Cladocera y copepoda de las aguas continentales de México. Guía ilustrada*. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 322 p.
- Elías-Gutiérrez, M. 2014. Zooplancton de agua dulce: especies exóticas, posibles vías de introducción. En: Mendoza, R y Koleff, P. (Eds.). *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 309-315). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Ellenberg, R. L. 2014. *Limnology of Lake Amatitlán in Guatemala and its eutrophication process*. Tesis de diplomado, Technical University of Berlin, Berlin. 128 p.
- Ejsmont-Karabin, J. 2012. The usefulness of zooplankton as a lake ecosystem indicators: rotifer trophic state index. *Polish Journal of Ecology*. 60(2): 339-350.
- Fernando, H. C y Zankai, N. P. 1981. The Rotifera of Malaysia and Singapore with remarks on some species. *Hydrobiologia*. 78: 205-219.
- Franco-Rossal, G. M. 2015. *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala*. Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. 177 p.
- Frutos, S. M; Neiff, P. y Neiff, J. J. 2009. Zooplankton abundance and species diversity in two lakes with trophic states. *Acta Limnol. Bras*, 21(3): 367-375.
- Fortaneto, D y De Smet, W. H. 2015. Rotifera. En: Smidt-Rhaera, A. (Eds.). *Handbook of zoology Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera*. Vol (pp. 3217-196). De Gruyter.
- Gama-Flores, J. L., Sarma, S. S. S., López-Rocha, A. N y Nandini, S. 2018. Effects of cladoceran-conditioned 75aunís on the demography of brachionid rotifers (Rotifera: Brachionidae). *Hydrobiologia*. Publicado en línea el 12 de diciembre de 2018 en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-018-3853-z>.

- García-Morales, A. E y Elías-Gutiérrez, M. 2004. Rotifera from southeastern Mexico, new records and comments on zoogeography. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. Serie Zoología*. 75: 99-120.
- García-Morales, A. E y Elías-Gutiérrez, M. 2007. The Rotifer fauna of Guatemala and Belize: survey and biogeographical affinities. *Rev. Biol. Trop.* 55: 569-684.
- Gilbert, J. J. 2018. Morphological Variation and Its Significance in a Polymorphic Rotifer: Environmental, Edogenous, and Genetic Control. *BioScience*. 68: 169-181.
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Guzmán-Santiago, J. L y Gallardo-Pineda, V. 2013. Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*. 23(2): 227-240.
- Guerrero-Jiménez, G., Silva-Briano, M., Adabache-Ortíz, A y Hernández-Rodríguez, S. 2015. Ultra Structural Comparison of Trophi in Species of the Genus *Brachionus* Pallas, 1799 in Aguascalientes State, Mexico. *Natural Science*. 7: 425-437.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A y Suárez-Morales, E. 2000. The eurasian *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) (Copepoda, Cyclopoida) found in southeastern Mexico. *Crustaceana*. 73(6): 705-713.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A., Reid, J. W., Suárez-Morales, E. 2003. An afro-asian species of *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida) in Central America and Mexico. *Journal of crustacean biology*. 23: 352-363.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A., Suárez-Morales, E y Cervantes-Martínez, A. 2006. Distribución de las especies de *Mesocyclops* (Copepoda Cyclopoida) en sureste mexicano y región norte de Guatemala. *Hidrobiológica*, 16(3): 259-265.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A; Suárez-Morales, E; Cervantes-Martínez, A; Elías-Gutiérrez, M; Previattelli, D. 2006. The neotropical species of *Mesocyclops* (Copepoda, Cyclopoida): an upgraded identification key and comments on selected taxa. *Journal of Natural History*. 40(9-19): 549-570.

- Gutiérrez-Aguirre, M. A., Cervantes-Martínez, A., Elías-Gutiérrez, M y Lugo-Vázquez, A. 2020. Remarks on *Mastigodiatomus* (Calanoida: Diaptomidae) from Mexico using integrative taxonomy, with a key of identification and three new species. *PeerJ*, 43 p.
- Gunkel, G. 2000. Limnology of an Equatorial High Mountain Lake in Lago San Pablo. *Limnologica*, 30: 113-120.
- Juday C. 1915. Limnological studies on some lakes in Central America. *Wisconsin Academy of Sciences, Arts, and Letters*. 18: 214-250.
- Koste, W. 1978. *Rotatoria: Die Rädertiere Mitteleuropas: Ein Bestimmungswerk begründet von Max Voigt Überordnung Monogononta*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart. 234 p.
- Lampert, W. y Sommer, U. 2008. *Limnoecology*. Second Edition. Oxford, Gran Bretania, 324 p.
- Lewis, W. M. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. *Perspectives in Tropical Limnology*. 43-64.
- Marten, G. G y Reid, J. W. 2007. Cyclopoid copepods. *American Mosquito Control Association*, 7: 65-92.
- Marsh, C.D. 1907. A revision of the North American species of Diaptomus. 1. *Trans Wins. Acad. Sci. Arts Lett*. 15: 381- 516.
- Papa, R. D. S., Li, H; Tordesillas, D.T. y Han, B; Dumont, H. J. 2012. Massive invasion of *Arctodiatomus dorsalis* (Copepoda, Calanoida, Diaptomidae). In Philippine lakes: a threat to Asian zooplankton biodiversity? *Biol Invasions*. 14: 2471-2478.
- Perbiche-Neves, G., Fileto, C., Laco-Portinho, J. y Troguer, A; Serafilm-Júnior, M. 2013. Relations among plancktonic rotifers, cyclopoid copepods, and water quality in two Brazilian reserviors. *Lat. Am. J. Aquat. Res*. 41: 138-149.

- 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.
- Reid, J. W. 2007. *Arctodiaptomus dorsalis* (Marsh): A Case History of Copepod dispersal. *Banisteria*. 30: 3-18.
- Richardson-Varas, R., Muñoz-Luza, M., Landeros-Cáceres, F., Carranza-González, J., Nuñez, M., Hernández, E., Ramos, E., Mazariegos, J., Girón, J y Velásquez, M. 2015. Índice de Fragilidad Ambiental en las cuencas hidro-geomorfológicas del Lago Peñuelas, Chile y del Lago Amatitlán, Guatemala. *Revista Geográfica*. 156: 109-125.
- Roldán-Pérez, G y Ramírez-Restrepo J. J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición*. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia. 440 p.
- Ruppert, E. E y Barnes, R. D. 1996. Aguas dulces y estuarios. En: Ruppert, E. E y Barnes, R. D. (Eds.). *Zoología de los invertebrados. Sexta Edición*. (pp. 4-5). Madrid, España. McGraw-Hill Interamericana.
- Sanoamuang, L. O. (1992). *The ecology of mountain lake rotifers in Canterbury, with particular preference to lake Grasmere and the genus Filinia* Bory de St. Vincent. Tesis de doctorado. Universidad de Canterbury, 149 p.
- Sarma S. S. S. 1988. New records of freshwater rotifers (Rotifera) from Indian waters. *Hydrobiologia*. 160: 263-269.
- Sarma, S. S. S y Elías-Gutiérrez, M. 1997. Taxonomic studies of freshwater rotifers (Rotifera) from Mexico. *Polskie Archiwum Hydrobiologi*. 44(3):341-357.
- Scasso, F., Mazzeo, N., Gorga, J., Kruk, C., Lacerot, G., Clemente, J. y Bonilla, S. (2001). Limnological changes in a sub-tropical shallow hypertrophic lake during its restoration: two years of a whole-lake experiment. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*. 11: 31-44.

- Segers, H., Murugan, G y Dumont, H. J. 1993. On the taxonomy of the Brachionidae: description of *Platinus* n. gen. (Rotifera, Monogononta). *Hydrobiologia*. 258: 1-8.
- Segers, H. 2008. Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 49-59.
- Segers, H. 2012. Rotifera: Monogononta. *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region*. 106-120.
- Siguí, N. L. 2016. ¿Por qué continúa la contaminación de aguas en Guatemala? *Ciencia, Tecnología y Salud*. 3(2): 2409-3459.
- Sharma, B. K. 1987. Indian Brachionidae (Eurotatoria: Monogononta) and their distribution. *Hydrobiologia*. 144. 169-275.
- Sládeček, V. 1983. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*. 100: 169-201.
- Suárez-Morales, E y Elías-Gutiérrez, M. 2001. On the taxonomical status of *Arctodiaptomus damphi* Brehm (Crustacea: Copepoda: Diaptomidae) with comments on *A. dorsalis* (Marsh). *J. Limnol.* 60(1): 11-18.
- Suárez-Morales, E., Gutiérrez-Aguirre, M. A y Elías-Gutiérrez, M. 2003. Observations on the structure of the mandibular gnathobase in some American *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 116(3): 742-753.
- Tausz, C. E., Breaver, J. R., Renicker, T. R., Klepach, J. A., Pollard, A. I y Mitchell, R. M. (2019). Biogeography and co-occurrence of 16 planktonic species of *Keratella* Bory de st. Vincent, 1822 (Rotifera, Ploima, Brachionidae) in lakes and reservoirs of the United States. *Zootaxa*. 4624(3): 337-350.
- Vila, I y Muhlhauser, H. A. 1987. Dinámica de lagos de altura, perspectivas de investigación. *Arch. Biol. Med. Exp.* 20: 95-103.
- Wilson, M. S. 1941. New Species of Diaptomid Copepods. *Journal of the Washington Academy of Sciences*. 31(12): 510-512.

-
- Witty, L. M. 2004. *Practical Guide to Identifying Freshwater Crustacean Zooplankton*, 2nd edition. Cooperative Freshwater Ecology Unit. Department of Biology, Laurentian University, Ontario, Canada. 50 p.
- Zanatta, S. A., Torres-Orozco, R., Zavala-Hurtado, J. A y Pérez-Hernández, M. A. 2007. Plankton rotifers from a tropical lake: differences in distribution and migration patterns in two mixing events, with similar abiotic conditions. *Hidrobiológica* 17: 1-10.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 3 Abundancia del zooplancton de los 4 sitios de estudio en junio de 2017

Abundancia 2017 (Ind/L)				
Especie	E C	O C	BPO	MICH
<i>Brachionus angularis</i>	0.00	0.00	71.56	1.87
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.70	0.70	85.56	4.67
<i>Brachionus plicatilis</i>	0.00	0.47	0.00	0.00
<i>Brachionus havanaensis</i>	9.33	153.53	108.89	165.20
<i>Keratella americana</i>	121.80	432.60	265.22	408.33
<i>Trichocerca cf longiseta</i>	0.00	0.00	14.00	12.60
<i>Trichocerca pusilla</i>	0.00	8.40	13.22	11.20
<i>Asplanchna sieboldi</i>	1.40	1.17	2.33	0.93
<i>Filinia longiseta</i>	0.00	1.40	28.00	13.07
<i>Filinia terminalis</i>	8.17	49.23	35.00	60.20
Rotifera N	141.40	647.50	623.78	678.07
Nauplio	3.50	2.57	3.11	1.40
Copepodito Calanoide	5.83	1.63	1.56	0.93
Copepodito Cyclopoide	2.80	0.47	3.89	0.47
<i>Mesocyclops thermocyclopoides</i>	0.23	0.00	0.00	0.00
Copepoda N	12.37	4.67	8.56	2.80

Anexo 2

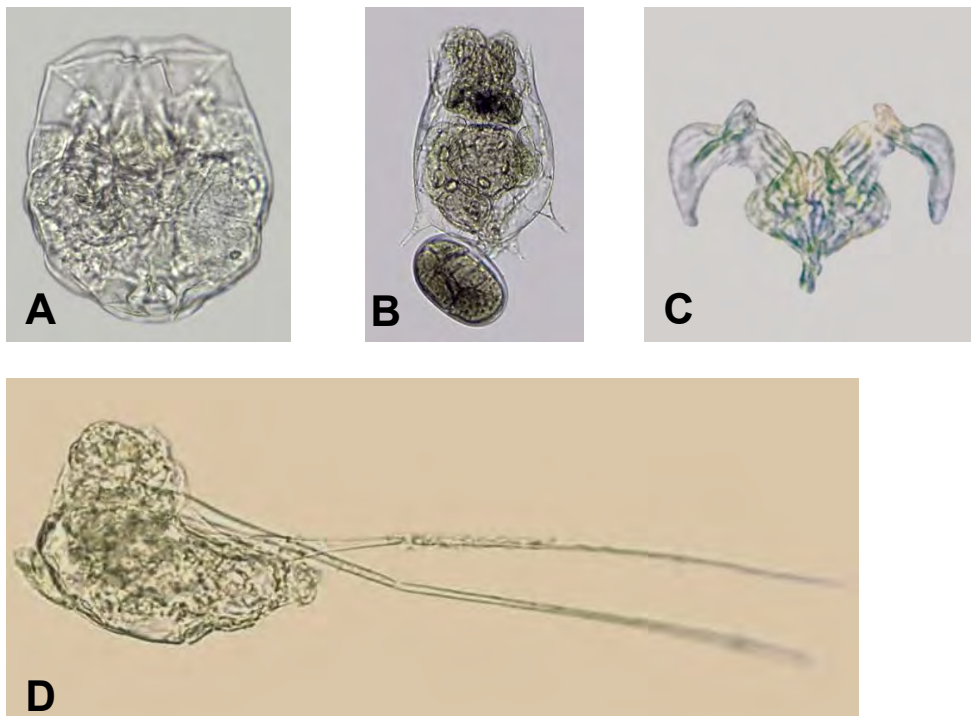


Fig. 33 Rotíferos identificados en el lago. A) *B. angularis*, B) *B. calyciflorus*, C) mástax de *B. calyciflorus*, D) *F. longiseta*.

Anexo 3

Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos en Este Centro

Mes	Este Centro													
	O ₂ (mg/L)		O ₂ (%)		Temp °C		pH		Conductividad		Salinidad		STD	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
enero	0.81	6.17	11.00	80.70	22.99	21.17	7.96	8.34	607.22	732.26	0.00	0.10	303.65	366.57
febrero	4.20	6.72	54.22	87.46	21.43	21.31	8.02	8.62	617.39	565.13	0.00	0.00	308.91	312.52
marzo	3.47	5.23	47.21	68.93	22.80	21.70	8.58	8.65	593.91	569.83	0.00	0.01	356.27	292.24
abril	4.86	3.70	65.17	50.12	22.79	22.40	8.92	8.75	585.30	593.35	0.00	0.00	351.26	296.13
mayo	1.63	3.84	23.08	53.88	23.54	23.73	9.07	8.69	573.95	611.39	0.00	0.03	319.74	303.74
junio	2.25	2.64	32.62	37.29	24.33	24.01	8.41	8.93	604.39	619.86	0.00	0.00	302.17	309.64
julio	1.80	4.03	25.22	56.40	23.58	24.14	8.40	8.96	628.70	616.43	0.00	0.02	318.35	307.70
agosto	3.27	2.58	46.46	36.10	24.49	24.16	8.59	8.72	609.14	617.57	0.03	0.00	304.91	308.43
septiembre	2.39	2.83	33.39	40.10	24.34	24.69	8.51	8.82	616.23	613.70	0.04	0.03	307.35	306.96
octubre	1.86	3.01	25.92	42.05	24.32	24.44	8.44	8.61	616.74	613.96	0.03	0.04	308.65	307.13
noviembre	1.15	0.57	15.13	7.57	23.55	23.19	8.01	7.68	561.96	624.91	0.00	0.00	280.83	312.57
diciembre	3.11	2.43	41.56	31.91	22.79	22.47	7.51	7.80	593.74	639.57	0.00	0.10	297.26	319.57
Prom	2.57	3.64	35.08	49.38	23.41	23.12	8.37	8.55	600.72	618.16	0.01	0.03	313.28	311.93
Desv. Est.	1.18	1.65	15.55	21.21	0.86	1.21	0.41	0.39	18.79	40.18	0.01	0.04	20.47	17.87

Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos en Oeste Centro

Mes	Oeste Centro													
	O ₂ (mg/L)		O ₂ (%)		Temp °C		pH		Conductividad		Salinidad		STD	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
enero	0.16	1.75	2.25	22.89	23.36	21.50	7.78	7.91	683.42	777.00	0.10	0.10	341.77	390.26
febrero	0.16	2.28	2.08	31.17	21.78	21.70	7.81	7.71	720.46	672.25	0.10	0.10	360.19	342.75
marzo	3.65	1.80	50.83	24.50	23.31	22.17	8.02	7.75	721.69	685.90	0.10	0.10	432.85	351.27
abril	1.79	2.48	25.40	39.82	23.56	23.10	8.67	7.95	717.50	731.79	0.10	0.10	430.54	364.38
mayo	1.82	2.99	26.04	46.95	24.12	24.27	8.73	8.37	687.98	758.63	0.10	0.10	393.42	379.17
junio	2.74	1.54	38.91	21.43	24.62	24.23	8.10	8.71	745.77	741.83	0.10	0.10	360.00	371.04
julio	0.43	2.17	5.94	31.07	24.50	24.43	7.95	8.57	734.00	718.58	0.10	0.10	367.15	359.46
agosto	1.40	1.52	19.37	22.26	24.98	24.75	7.95	8.40	721.74	711.42	0.02	0.10	360.87	356.33
septiembre	0.97	2.01	13.37	29.90	24.50	25.31	7.75	8.51	656.96	678.38	0.10	0.10	328.63	339.38
octubre	1.33	0.34	18.33	4.70	24.66	24.88	8.23	7.82	665.75	686.17	0.10	0.10	333.00	343.00
noviembre	0.73	0.11	9.69	1.55	24.83	23.74	7.65	7.58	615.48	714.04	0.00	0.10	307.74	356.78
diciembre	0.99	0.75	13.34	10.05	23.20	22.69	7.69	7.53	680.17	736.39	0.10	0.10	350.26	368.04
Prom	1.35	1.64	18.79	23.86	23.95	23.56	8.03	8.07	695.91	717.70	0.09	0.10	363.87	360.15
Desv. Est.	1.00	0.83	14.11	12.89	0.90	1.24	0.34	0.40	36.17	31.61	0.03	0.00	36.68	14.72

Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos en Bahía Playa de Oro

Mes	BPO													
	O ₂ (mg/L)		O ₂ (%)		Temp °C		pH		Conductividad		Salinidad		STD	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
enero	3.37	5.12	46.72	66.36	24.16	21.99	8.63	8.41	626.50	766.80	0.02	0.10	313.20	384.10
febrero	7.29	4.58	93.79	61.49	21.11	22.53	8.51	8.54	627.80	594.60	0.00	0.00	314.00	316.20
marzo	3.22	2.68	47.09	35.77	24.49	22.68	8.42	7.92	611.50	614.80	0.02	0.00	367.10	305.80
abril	3.72	4.11	55.92	60.99	24.51	24.29	8.66	8.62	607.10	657.80	0.02	0.10	364.90	329.20
mayo	3.45	1.13	52.80	15.89	25.38	25.91	8.40	7.76	624.20	687.90	0.00	0.10	332.70	345.50
junio	2.05	0.32	31.48	4.43	25.80	25.72	8.12	8.46	617.75	701.33	0.03	0.10	309.13	352.44
julio	0.45	2.67	32.67	38.83	26.29	25.70	8.39	8.31	611.78	653.40	0.00	0.10	305.56	329.30
agosto	2.15	0.99	32.67	14.28	26.29	25.99	8.39	8.00	611.78	655.90	0.00	0.04	305.56	330.50
septiembre	2.06	1.96	30.39	28.85	25.28	26.58	8.36	8.61	628.30	632.70	0.02	0.03	314.00	316.50
octubre	5.34	0.82	75.60	12.02	25.68	26.02	8.46	8.02	632.20	641.70	0.04	0.10	316.00	320.80
noviembre	6.05	4.76	172.21	64.53	24.63	23.77	8.10	7.90	568.30	655.30	0.00	0.10	284.40	327.60
diciembre	5.24	5.23	72.76	69.75	24.17	22.92	7.77	8.25	596.40	664.80	0.00	0.10	298.20	332.50
Prom	3.70	2.87	62.01	39.43	24.82	24.51	8.35	8.23	613.63	660.59	0.01	0.07	318.73	332.54
Desv. Est.	1.88	1.75	38.39	23.30	1.34	1.59	0.24	0.29	16.98	42.23	0.01	0.04	23.78	19.68

Tabla 7 Parámetros fisicoquímicos en Michatoya

Mes	Michatoya														
	O ₂ (mg/L)		O ₂ (%)		Temp °C		pH		Conductividad		Salinidad		STD		
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	
enero	3.19	9.61	41.90	127.50	22.30	23.10	7.90	8.00	751.00	782.00	0.10	0.10	375.00	394.00	
febrero	2.16	9.64	30.90	134.60	25.70	23.10	7.78	8.23	717.00	685.00	0.10	0.10	359.00	356.00	
marzo	19.50	8.55	278.00	114.70	26.00	23.00	8.95	8.32	707.00	703.00	0.10	0.10	424.00	350.00	
abril	13.40	10.25	217.00	140.50	27.60	25.00	9.11	8.48	699.00	755.00	0.10	0.10	419.00	374.00	
mayo	14.19	16.77	209.00	239.00	26.55	26.90	8.50	9.32	753.00	774.00	0.10	0.10	385.00	390.00	
junio	10.28	10.53	146.85	151.40	26.00	25.80	9.02	9.19	729.00	733.00	0.10	0.10	364.00	369.00	
julio	N/R	17.15	N/R	244.00	N/R	26.50	8.70	9.48	N/R	715.00	N/R	0.10	N/R	359.00	
agosto	8.28	3.72	116.90	53.00	26.00	26.90	8.80	8.61	709.00	729.00	0.10	0.10	354.00	368.00	
septiembre	2.40	0.00	32.80	0.00	25.60	28.10	7.61	9.38	660.00	657.00	0.10	0.10	330.00	328.00	
octubre	5.12	0.16	74.50	2.20	25.50	25.40	7.87	7.27	665.00	682.00	0.10	0.10	332.00	341.00	
noviembre	3.64	0.19	N/R	2.60	24.30	24.00	N/R	7.57	N/R	709.00	N/R	0.10	N/R	355.00	
diciembre	5.28	7.23	74.10	185.00	24.20	24.10	7.70	8.01	677.00	734.00	0.10	0.10	339.00	366.00	
Prom	7.95	7.82	122.20	116.21	25.43	25.16	8.36	8.49	706.70	721.50	0.10	0.10	368.10	362.50	
Desv. Est.	5.46	5.65	82.94	82.58	1.34	1.65	0.56	0.70	30.95	35.91	0.00	0.00	31.54	17.99	

Monitoreo y análisis actual del estado trófico del lago Amatitlán, Guatemala:
el zooplancton como organismos bioindicadores