



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y
TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO
TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA**

Que para Obtener el Grado de
Maestro en Manejo de Recursos Naturales
P R E S E N T A
Biol. ERÉNDIRA BETSAI GÓMEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR: Dra. PATRICIA TRUJILLO JIMÉNEZ
CO- DIRECTOR: M. en C. ROBERTO TREJO ALBARRÁN

Cuernavaca, Morelos

Septiembre, 2021



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco al CONACYT por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

A la Universidad Autónoma de Morelos.

Al Centro de Investigaciones Biológicas y Belenes, por el espacio brindado para realizar trabajo de laboratorio.

A la doctora Patricia Trujillo Jimenez, una extraordinaria directora de tesis, quien estuvo al pie con el apoyo, siempre disponible para lograr terminar este trabajo y que sin duda me deja con una gran enseñanza académica y de vida.

A mi co-director y amigo el M. en C. Roberto Trejo, por creer en mi y motivarme para superar mis logros al cumplir nuevas metas, y por compartir su experiencia tanto en campo como en laboratorio para poder lograr concluir este trabajo.

Al Comité de evaluación, Dr. Rubén Castro Franco, M. en C. Migdalia Diaz Vargas, M. en C. Judith García Rodríguez, Dr. Alejandro Garcia Flores que gracias a ellos pude ampliar mis conocimientos al compartirme información valiosa para perfeccionar el trabajo en cada evaluación y su gran ayuda para lograr un estudio de calidad.

Al Doctor y Doctora Sarma por su apoyo brindado en la FES de Iztacala para realizar la estancia requerida en este programa, por compartir sus conocimientos, enseñarnos nuevas habilidades y estar siempre dispuestos a resolver nuestras dudas.

Y a los compañeros de laboratorio de Zoología Acuática de la FES Iztacala Rosa, Cesar, Meetztlí, Brenda, Toño, Michael, Alma y Gerardo por su ayuda durante la estancia realizada.

DEDICATORIA.

A mi familia, especialmente a mis padres Susana Martínez Equihua y Fernando Gómez Ochoa, que siempre han estado a mi lado, apoyándome en todas mis necesidades y la gran ayuda brindada para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis compañeros de generación al formar un buen equipo durante la carrera, especialmente a Anayeli por la compañía y apoyo que me brindó durante nuestra estancia en la FES de Iztacala.

A Uriel Medina, quien ha estado a mi lado durante este proceso y por su gran motivación para concluir este trabajo.

Índice

	Páginas
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	6
3. OBJETIVOS	
3.1. Objetivo general	9
3.2. Objetivos específicos	9
4. MATERIAL Y MÉTODOS	
4.1. Área de estudio	10
4.2. Metodología	
4.2.1. Monitoreo de parámetros físicos y químicos	13
4.2.2. Recolecta de zooplancton	13
4.2.3. Cálculo del índice de calidad del agua (ICA)	14
4.2.4. Estado trófico del ecosistema	14
4.2.5. Identificación y abundancia de las especies del zooplancton	15
4.2.6. Índice de Shannon-Wiener	16
4.2.7. Diagrama de Olmstead-Tukey	17
4.2.8. Análisis de datos	17
5. RESULTADOS	
5.1. Evaluación de la calidad del agua de los lagos Zempoala y Tonatiahua	
5.1.1. Análisis de Componentes Principales de parámetros físicos, químicos y microbiológicos	19
5.1.2. Cálculo del índice de calidad de agua (ICA)	20
5.2. Cálculo del estado trófico de Carlson	21
5.3. Comunidad zooplanctónica	21
5.3.1. Estructura de las comunidades del zooplancton de los lagos Zempoala y Tonatiahua.	22
5.3.2. Riqueza y abundancia específica en los lagos Zempoala y Tonatiahua por meses	27
5.3.3. Riqueza y abundancia de especies por lago y estación.	
5.3.3.1. Lago Zempoala	31
5.3.3.2. Lago Tonatiahua	32
5.3.4. Riqueza de especies por lago y meses.	
5.3.4.1. Lago Zempoala	34
5.3.4.2. Lago Tonatiahua	34

5.3.4.3. Índices de Shannon-Wiener	40
5.3.4.4. Diagrama de jerarquización de Olmstead-Tukey	41
5.3.4.5. Evaluación de la relación entre los parámetros fisicoquímicos, índices de calidad del agua y hábitat con las comunidades de los lagos Zempoala y Tonatiahua	43
6. DISCUSIÓN	
6.1. Índice de calidad del agua	44
6.2. Índice del estado trófico de Carlson	45
6.3. Comunidades zooplanctónicas	46
7. CONCLUSIONES	58
8. PERSPECTIVAS	59
9. LITERATURA CITADA	60

ÍNDICE DE TABLAS		Páginas
Tabla 1	Clases de calidad, rango y colores representativos para los índices de Dinius	14
Tabla 2	Escala del Índice del Estado Trófico (IET)	15
Tabla 3	Listado de las especies encontradas en los lagos Zempoala y Tonatiahua	23
Tabla 4	Riqueza y abundancia (org/mL) específica zooplanctónica en los lagos Zempoala y Tonatiahua	26
Tabla 5	Riqueza y abundancia (org/mL) específica zooplanctónica por meses de muestreo en los lagos Zempoala y Tonatiahua	30
Tabla 6	Riqueza y abundancia (org/mL) de especies por lago y estación	33
Tabla 7	Riqueza y abundancia (org/mL) de especies por localidad y por meses en el lago Zempoala	36
Tabla 8	Riqueza y abundancia (org/mL) de especies por localidad y por meses en el lago Tonatiahua	39
Tabla 9	Índice de Shannon-Wiener por estaciones y meses en los lagos Zempoala y Tonatiahua	41

ÍNDICE DE FIGURAS		Páginas
Figura 1	Localización del área de estudio, CONANP 2000	10
Figura 2	Localización de las estaciones de muestreo en el lago Zempoala (A) y Tonatiahua (B)	12
Figura 3	Diagrama del análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas de los lagos Zempoala y Tonatiahua	19
Figura 4	Resultados del índice de Calidad del Agua (ICA) en los lagos Zempoala y Tonatiahua. (a) Variación de puntajes entre ambos lagos, (b). Valores medios entre estaciones en ambos lagos. (c) Valores por periodos de colecta en ambos lagos	20
Figura 5	Valores del Índice del Estado Trófico de Carlson	21
Figura 6	Diagrama de jerarquización de Olmstead-Tukey a) Lago Zempoala; b) Lago Tonatiahua	42
Figura 7	Análisis de agrupamiento para las estaciones de estudio de los lagos Zempoala y Tonatiahua, empleando datos de los índices ecológicos, las abundancias promedio de las especies por sitio de estudio y el promedio de los parámetros fisicoquímicos	43

RESUMEN

Los lagos Zempoala y Tonatiahua enfrentan grave deterioro ecológico originado por factores como la extracción de agua, la tala inmoderada, la extracción de tierra de monte, el sobre pastoreo, la contaminación y por el uso intensivo como áreas recreativas. El objetivo del presente estudio es analizar la contribución del zooplancton como elemento biológico para evaluar la calidad del agua de los lagos Zempoala y Tonatiahua. De acuerdo con el índice de calidad del agua, Zempoala reveló que su agua va de contaminada a contaminada leve y es viable para el uso como agua potable, con calidad aceptable para pesca y uso recreativo, en tanto que Tonatiahua tiene contaminación leve y es apropiada para uso de agua potable y tiene calidad aceptable a excelente, adecuada para la pesca y uso recreativo. La diversidad de plancton está constituida por 64 especies (2 Filos, 3 clases, 4 órdenes, 22 familias, 36 géneros). Del total, 50 de ellas son rotíferos (77%), 12 cladóceros (19%) y 2 copépodos (3%). El orden Ploimida tuvo un total de 14 familias, mientras que la familia Brachionidae presentó mayor número de géneros (cinco), seguido de la familia Notommatidae (tres), en tanto que el género *Lecane* registró el mayor número de especies (nueve). Se colectó un total de 19,711 org/L, la mayor abundancia correspondió a los rotíferos, seguido de los cladóceros y los menos abundantes los copépodos. Ambos lagos se consideran como medianamente contaminados de acuerdo con el índice de Shannon-Wiener. El análisis jerárquico por agrupación por correlación de Pearson AJCP-I, muestra tres grupos a un nivel de corte de 0.98, el grupo I, comprende solamente a la estación E3 de Zempoala, el grupo II está conformado con la estación E4 de Zempoala y las estaciones E1 y E2 de Tonatiahua, el grupo III, está representado por las estaciones E3 y E4 de Tonatiahua y las estaciones E1 y E2 de Zempoala. La variación de la calidad del agua que presentan ambos lagos, se debe a que están sometidos a cambios ambientales fisicoquímicos, considerados como ambientes que varían de baja a mediana calidad. Con base en el índice del estado trófico de Carlson, son considerados como ecosistemas oligotróficos, lo cual es respaldado por la presencia de tres especies del género *Asplancha* (*A. multiceps*, *A. priodonta*, *A. sieboldi*), que son especies indicadoras de ecosistemas oligotróficas. La presencia de especies como *Brachionus havanaensis*, *Kellicottia bostonensis*, *Trichocerca elongata*, *Trichocerca porcellus*, *Trichocerca similis*, *Trichocerca tenuir*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia laevis*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Comptocercus sphaericus* y *Comptocercus dadayi*, estos lagos se encuentran en un proceso de eutrofización.

ABSTRACT

Zempoala and Tonatiahua Lake have very serious ecological deterioration, caused by several factors, such as: immoderate logging, extraction of forest soil, overgrazing, pollution and intensive use as recreational areas. The aim of this study was to analyze the contribution of zooplankton as a biological element to evaluate the water quality of lakes Zempoala and Tonatiahua. Regarding the index of Dinius water quality, Zempoala is classified with waters that go from contaminated to slightly contaminated in order to use it as drinking water and as acceptable quality for fishing and recreational use, while in Tonatiahua it is considered slightly contaminated to use as drinking water and acceptable quality to excellent quality for fishing and recreational use. The diversity of plankton is constituted of 64 species were recorded, classified into two Phyla, three classes, four orders, 22 families and 36 genera. From the total of the species, 50 belongs to the group of rotifers (77%), twelve belongs to the group of cladocerans (19%) and two copepods (3%). The Ploimida order was the most represented with a total of 14 families (65%), while the Brachionidae family presented the highest number of genera (five), followed by the Notommatidae family (three) while the Lecane genus exhibited the highest number. of species (nine). A total of 19,711 org/L were collected, from these the highest abundance corresponded to rotifers, followed by cladocerans and the least abundant were copepods. Based on the Shannon-Wiener index, both lakes are considered moderately polluted. The hierarchical analysis by grouping by correlation of Pearson AJCP-I, show three groups at a cut-off level of 0.98, group I, comprises only station E3 of Zempoala, group II is made up of station E4 of Zempoala and stations E1 and E2 of Tonatiahua, group III, is represented by stations E3 and E4 of Tonatiahua and stations E1 and E2 of Zempoala. The variation in water quality in both lakes is due to the fact that they are subject to physicochemical environmental changes, considered as aquatic environments that vary from low to medium quality. Based on the Carlson trophic state index, they are considered as oligotrophic ecosystems, which is strengthened by the presence of three species of the genus *Asplancha* (*A. multiceps*, *A. priodonta* and *A. sieboldi*), which it is considered as an indicator of oligotrophic ecosystems. The presence of species registered in mesotrophic and eutrophic ecosystems such as *Brachionus havanaensis*, *Kellicottia bostonensis*, *Trichocerca elongata*, *Trichocerca porcellus*, *Trichocerca similis*, *Trichocerca tenuir*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia ladayevis*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Comptocercus sphericulata*, *Comptocercus sphaericus* and *Comptocercus dadayi*; these lakes are in a eutrophication process.

1.- INTRODUCCIÓN

Los lagos de montaña están formados por cráteres volcánicos, deslizamientos de tierra y glaciares. Estos hábitats acuáticos conservan una biodiversidad rica y única que incluye plantas, animales, hongos y microbios. Además de la importancia ecológica, también se conoce la importancia geomorfológica, hidrológica y biogeoquímica, ya que integran los procesos de cuencas aguas arriba e influyen en los ecosistemas naturales y humanos ubicados aguas abajo en sus cuencas integradas (Wetzel y Likens, 2000; Lampert y Sommer, 2008). La química del agua de los lagos de montaña está influenciada por factores, como la mineralogía del lecho rocoso, la cantidad y la composición del suelo y la vegetación en la cuenca, la pendiente y la exposición (Psenner y Catalan, 1994).

En el tiempo geológico, las cuencas de los lagos son efímeras y el proceso de eutrofización es una de las razones de su desaparición (Wetzel, 2001). La eutrofización se caracteriza por un crecimiento excesivo de algas y plantas debido al aumento de la disponibilidad de uno o más factores limitantes de crecimiento necesarios para la fotosíntesis (Schindler, 2006), como la luz solar, el dióxido de carbono y los fertilizantes nutritivos como el nitrógeno y el fósforo.

La eutrofización ha ocurrido naturalmente durante siglos a medida que los lagos envejecen y se rellenan con sedimentos (Carpenter, 1981). Sin embargo, la mayoría de estos procesos se aceleran por un exceso de nutrientes que surge de la actividad humana, lo que se conoce como "eutrofización cultural", la cual es causada por un exceso de nutrientes de las plantas (especialmente nitrógeno y fósforo), añadidas a los lagos principalmente como aguas residuales domésticas no tratadas o parcialmente tratadas, y escurrimientos de campos agrícolas, entre otros; por lo tanto, la eutrofización es el proceso de contaminación más importante de las aguas de los ecosistemas acuáticos (Jekatierynczuk-Rudczyk et al., 2014).

Los ecosistemas acuáticos mantienen alta diversidad de organismos, por lo que impactos como la eutrofización inducen a una desorganización en el funcionamiento normal del ecosistema, y genera la estimulación de una serie de cambios sintomáticos; como, la pérdida de los usos potenciales del agua, variación en el color, olor y sabor desagradable, disminución de la biodiversidad, reducción de la penetración de la luz, mortandad de peces, pérdidas económicas, aumentos en las poblaciones

de microorganismos patógenos y vectores de enfermedades, originando en ocasiones importantes florecimientos o blooms de cianobacterias potencialmente tóxicas para la salud humana y animal, cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los ecosistemas acuáticos y al propio organismo afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Meybeck et al., 1996; Amé et al., 2003; Mancini et al., 2008, 2010; López-Rodríguez et al., 2016).

Para evaluar el proceso de eutrofización hay varias estrategias como la inspección visual o el uso de isotópos radiactivos, o tecnología de información satelital, El índice del Estado Trófico (IET), (Carlson,1977), es uno de los más utilizados y se obtiene a través de la transparencia del agua medida con el disco de Secchi, concentración de clorofila *a* (Clor *a*) y fósforo total (Pt).

Con la implementación de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, los Estados miembros clasifican el estado ecológico de las aguas superficiales con varios elementos de calidad biológica (BQE) como la evaluación de las comunidades de fitoplancton, macrofitas, fitobentos, macroinvertebrados y peces (Haberman y Haldana, 2014). Desafortunadamente el zooplancton no ha sido incluido al BQE a pesar de ser un componente clave de las redes alimenticias pelágicas (Moss, 2007; Caroni e Irvine, 2010; Davidson et al., 2011; Jeppesen et al., 2011).

El zooplancton, es un excelente indicador del estado de salud de un lago, debido a su posición en la red alimentaria y los mecanismos de retroalimentación de arriba hacia abajo (Christofersen et al., 1993; Beaver y Havens, 1996; Scheffer, 1999). Las especies indicadoras son de vital importancia en cuanto al monitoreo biológico ya que se definen como organismos con requerimientos particulares de variables físicas o químicas de las que dependen cambios en su presencia o ausencia, así como morfológicos, fisiológicos o conducta, indican que las condiciones donde habitan se encuentran fuera de sus límites aceptables (Díaz, 1995). En última instancia, el zooplancton; puede funcionar como un indicador de la salud del ecosistema (Hanazato, 2001; Pereira et al., 2002), ya que la composición y abundancia del zooplanctón está influenciada por factores bióticos y abióticos, lo que provoca la distribución heterogénea en los cuerpos de agua (Pinto-Coelho et al., 1998).

Si bien es cierto que el zooplancton vive en un estado de equilibrio el ambiente acuático y cualquier disturbio en estos organismos representa estrés y enfermedades (Trejo, 2012). El

zooplancton de agua dulce se compone de protozoos, rotíferos, cladóceros, copépodos y ostrácodos (Ferdous y Muktadir, 2009). En diversos estudios se han empleado a las comunidades zooplanctónicas como indicadoras del nivel trófico de los ecosistemas (Gulati, 1984; 1990; Duggan et al., 2001; Pereira et al., 2002; Agasild et al., 2007; Ejsmont-Karabin, 2012; Ejsmont-Karabin y Karabin, 2013; Haberman y Haldana, 2014; Dembowska et al., 2015; Stamou et al., 2019).

2. ANTECEDENTES

A nivel mundial existen estudios sobre la relación del estado trófico de los ecosistemas y las comunidades del zooplancton, (Blancher, 1984; González et al., 2002; Brito et al., 2011; Astiz y Álvarez, 2014; Haberman y Haldana, 2014; Rodríguez, 2015; Dorche et al., 2018; Miño y Rodríguez, 2018; Pomari et al., 2018; García-Chicote et al., 2019; Stamou et al., 2019; Almeida et al., 2020).

Un estudio en México, en la laguna de Catemaco, Veracruz (Suárez-Morales et al., 1986) mostró que los copépodos, cladóceros y rotíferos fueron los componentes más relevantes del zooplancton. En lo que concierne al fitoplancton, las cianofitas fueron dominantes, especialmente *Lyngbya* sp, *Spirulina princeps* y *Chroococcus* sp, lo cual es un indicio de eutroficación en un cuerpo de agua.

López-López y Serna-Hernández (1999), analizaron la variación estacional de las comunidades planctónicas y los factores ambientales del embalse Ignacio Allende, Guanajuato; ahí y observaron la proliferación de *Anabaena variabilis*, y *Ceratium hirundinella*, *Aulacoseira granulata* y *Fragilaria crotonensis*. Los resultados sugieren que el embalse es un sistema eutrófico, con marcada estacionalidad entre los periodos de lluvias y estiaje

Robles y Esqueda (2008), recabaron información sobre la composición zooplanctónica de seis presas en México, registrando un total de 166 especies repartidas en tres grupos (artrópodos, protozoos y rotíferos), de las cuales 16 especies son indicadoras de contaminación orgánica. En la presa Zimapán se registraron el mayor número de especies indicadoras de contaminación orgánica, esto se explica ya que, la presa funciona con aguas residuales para generar energía eléctrica. La composición del zooplancton como las especies *Brachionus angularis*, *B. quadridentatus*, *Filinia longiseta*, *Trichocerca capuchina* y el cladóceros *Bosmia longirostris* en la presa Aguamilpa es la típica de un ambiente eutrófico.

Sigala et al. (2017), en un análisis de 30 cuerpos de agua en la Faja Volcánica Transmexicana, se reportaron 97 taxones acuáticos (fitoplancton y diatomeas, amebas testadas, cladóceros y ostrácodos en sedimento superficial) que potencialmente pudieran ser usados como

bioindicadores. Con base en los nutrientes se encontró que 16 lagos fueron eutróficos o hipertróficos sobre todo aquellos ubicados en climas cálido-húmedos. En esos sitios las especies que tuvieron mayor ocurrencia fueron los cladóceros *Bosmina longirostris*, *Daphnia longispina* y *Alona quadrangularis*.

En los lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos, se han realizado varios estudios previos. Flores (1998), hizo un estudio en el lago Zempoala sobre la riqueza del zooplancton, durante un ciclo anual, registró 35 especies de zooplancton y las más abundantes fueron *Kellicottia bostoniensis*, *Keratella cochlearis* y *Polyarthra remata*, y de acuerdo con los registros de temperatura menciona que se trata de un ecosistema cálido monomítico subtropical de segundo orden y de acuerdo con el índice de calidad del agua, es un ecosistema de excelente calidad para la vida acuática, pesca y uso recreativo, aceptable para la agricultura, levemente contaminado para uso como agua potable. De acuerdo con los valores del índice saprobio, se trata de un ecosistema oligosaprobio.

Trejo (2012), evaluó la composición y abundancia del zooplancton, así como la variación espacial; este estudio reportó un total de 25 especies pertenecientes a los grupos Copépoda, Cladóceros y Rotífera, durante su estudio la abundancia presentó dos incrementos, uno en el mes de septiembre y otro en el mes de febrero; la especie constante fue *Tropocyclops prasinus*; la especie dominante fue *Daphnia laevis* y *Asplancha sieboldi* la especie ocasional; dentro de las especies raras hace mención a *Filinia terminalis*, *Hexarthra mira* y *Rotoria neptuna*.

Muñoz (2014), realizó un estudio anual en el lago de Zempoala con el objetivo de evaluar la riqueza de los rotíferos de la clase Monogonta, para lo cual seleccionó cinco zonas litorales en el ecosistema, en donde determinó algunos parámetros físicos y químicos, con las especies de los géneros *Brachionus* y *Trichocerca* evaluó el índice de Sládeček, el cual infiere el estado trófico del ecosistema, identificó un total de 64 especies de rotíferos y de acuerdo con el índice de Sládeček, el lago puede considerarse como oligotrófico, los parámetros fisicoquímicos no tuvieron grandes cambios a lo largo del estudio, excepto los nitratos y fosfatos en algunos meses

Palomino (2014), encontró en el lago Zempoala seis especies de microcrustáceos, de las cuales tres especies corresponden a los cladóceros (*Daphnia* sp., *Bosmina* sp. y *Alona* sp.) y tres a copépodos (*Macrocyclops albidus*, *Paracyclops fimbriatus* y *Leptodiptomus cuauhtemoci*). Menciona que hubo cambios estacionales y temporales durante el ciclo de muestreo, registrando la mayor riqueza de copepoditos en la época de lluvia, concluyendo que las variaciones estuvieron afectadas directamente por las condiciones ambientales, las características del ecosistema y las interacciones poblacionales de los microcrustáceos.

Trejo-Albarrán et al. (2014.), registraron la variación del cladócero *Daphnia laevis*; este estudio menciona la amplia distribución que presentan estos organismos a nivel mundial; evaluando la variación espacio-tiempo durante un ciclo anual en el lago Zempoala. Destacó que esta especie prefiere la zona litoral, sin embargo, no tiene dificultad para desplazarse en toda la columna de agua, pero su distribución está ligada a la disponibilidad de fitoplancton, al igual que la temperatura juega un papel importante en el incremento de su abundancia.

Barragán (2016), llevó a cabo un estudio en el que registra macroinvertebrados y microinvertebrados en la zona litoral de los lagos Zempoala y Tonatiahua en la cual considera dos estaciones al norte y al sureste de cada lago, realizó dos muestreos uno en el mes de marzo (periodo de secas) y otro en septiembre (periodo de lluvias). En el lago Zempoala reconocieron 57 especies de rotíferos, tres de cladóceros y dos de copépodos. En el lago Tonatiahua registraron un total de 45 especies de rotíferos, cinco de cladóceros y cuatro de copépodos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar la contribución del zooplancton como elemento biológico para evaluar la calidad del agua de los lagos Zempoala y Tonatiahua.

3.2. Objetivos específicos

Evaluar la calidad del agua de los lagos Zempoala y Tonatiahua.

Estimar el estado trófico mediante el índice del estado trófico de Carlson (IET)

Identificar la estructura de las comunidades del zooplancton de los lagos Zempoala y Tonatiahua.

Evaluar la relación que guardan las características físicas y químicas del agua, ICA, IET, con la abundancia del zooplancton de los lagos Zempoala y Tonatiahua.

4.- MATERIAL Y METODOS

4.1. Área de estudio

El Parque Nacional Lagunas de Zempoala, pertenece a la Altiplanicie Mexicana en la Meseta Central o de Anáhuac, de la provincia del eje Neovolcánico dentro de la Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac (Arredondo y Aguilar, 1987). Situado a 65 km al sur de la Ciudad de México y a 30 km al norte de la ciudad de Cuernavaca, cuenta con una superficie de 4,790 hectáreas de las cuales 3,965 pertenecen a Morelos y 825 al Estado de México. Las coordenadas geográficas que lo encierran están entre los paralelos 19° 03' 00" latitud norte y los meridianos 99° 18' 42" longitud oeste (Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995) (Fig. 1).

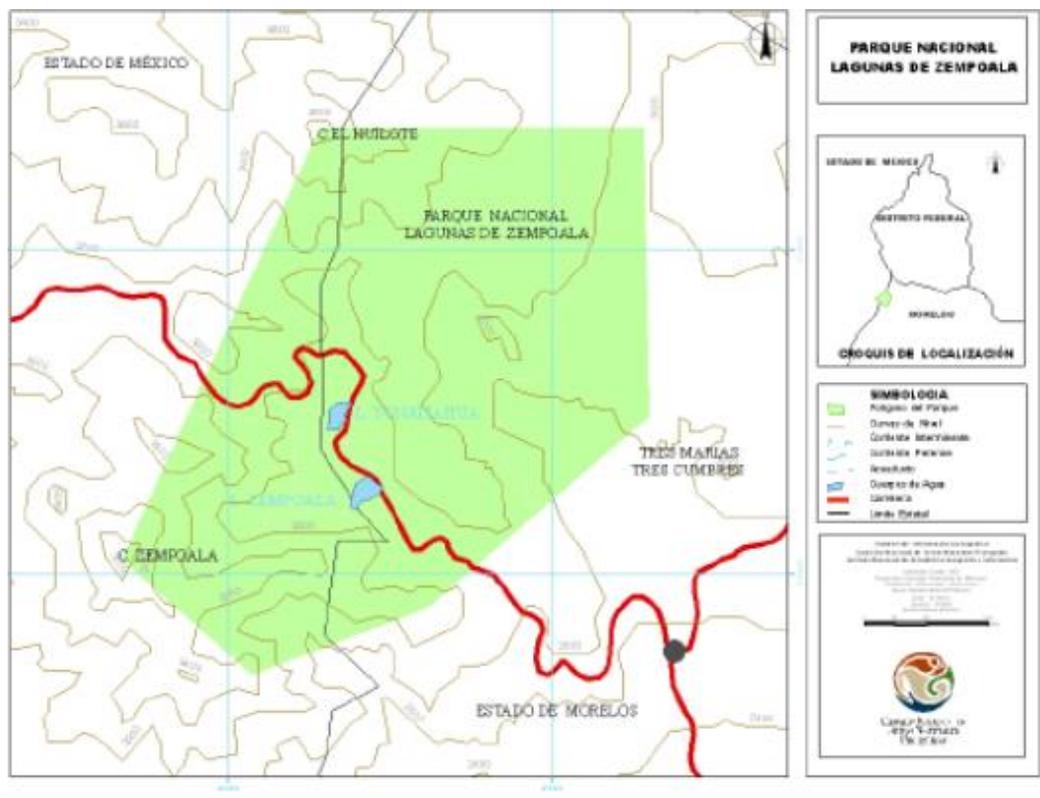


Figura 1. Localización del área de estudio, CONANP 2000.

Los lagos son de origen volcánico, pertenecen a la unidad geológico-estratigráfica de los grupos Zempoala y Chichinautzin, forman parte de tres cuencas endorreicas la de México, que los limita por el noroeste con la Sierra del Ajusco y de las Cruces; la del río Balsas por el sur a partir de los

Cerros Cuautepetl, Zempoala y la Leona, empezando a descender el terreno hacia el Valle de Cuernavaca y Sierra de Ocuilán (Bonilla, 1992). La cuenca del parque tiene una precipitación anual de 1,000 a 1,400 mm, la temporada de lluvias va de junio a septiembre, y la de estiaje de octubre a mayo. Actualmente existen siete lagos: Zempoala, Prieta o Acoyotongo, Tonatihua, Compila, Quila, Acomantla, y Hueyapan; estos últimos se encuentran secos casi todo el año (Godínez-Ortega et al., 2017).

El parque presenta tres subtipos de clima, el primero es el C(w2)(w)big, templado con verano fresco y largo, el más húmedo de los subhúmedos con lluvias en verano, con porcentaje bajo de lluvia invernal, isotermal y con marcha de temperatura tipo Ganges; el segundo es C(w2)(w)(b)ig, semifrío con verano fresco y largo, el más húmedo de los subhúmedos, con porcentaje bajo de lluvia invernal, isotermal y con marcha de temperatura tipo Ganges y por último C(w2)(w)cig, semifrío con verano fresco y corto, el más húmedo de los subhúmedos con lluvias en verano, porcentaje bajo de lluvia invernal, isotermal y con marcha de temperatura tipo Ganges (Taboada et al., 2009). La vegetación que circunda los lagos es: bosque de pino, bosque de oyamel, bosque de encino y bosque de pino-encino (Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995).

El lago Zempoala es el de mayor tamaño con una superficie de 10.564 Ha, 508 m de largo máximo en dirección Norte-Sur y una anchura promedio de 207.9 m. (García, 1988). El lago Tonatihua se localiza a 200 metros al oeste de los lagos Zempoala y Compila, al pie de los cerros Ocuilán y Los Alumbres; con una superficie que va de 5.3 hectáreas en época de estiaje a 6.1 hectáreas en la época de lluvias con 312.8 a 342 m de largo máximo en dirección oeste-este y 231.25 m en su parte más ancha y 44.7 m en la más angosta (Santillán-Alarcón et al., 2010).

Para la obtención de muestras se seleccionaron cuatro sitios en cada lago: tres en la zona litoral, porque ahí se encuentran las plantas acuáticas que constituyen el hábitat del zooplancton y otra en la zona limnética (Fig. 2). Se realizaron tres muestreos, uno correspondiente al estiaje cálido (marzo, 2019) y dos al estiaje frío (noviembre, 2019 y febrero, 2020).



Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en los lagos Zempoala (A) y Tonatiahua (B).

4.2. Metodología

4.2.1. Monitoreo de parámetros físicos y químicos

En cada una de las localidades, se registraron *in situ* los siguientes factores ambientales oxígeno disuelto (PPM), saturación de oxígeno (mg/L), conductividad (mS/cm), temperatura del agua y aire (°C) y pH, con el empleo de una sonda multiparamétrica Quanta. Para evaluar la calidad del agua, se recolectaron en cada sitio muestras de agua (por duplicado) para determinar nitrato (mg/L), color (Pt–Co unidades), dureza (CaCO₃ mg/L), alcalinidad (mg/L) y cloruro (Cl mg/L), demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO₅ mgL⁻¹), coliformes totales y fecales (NMP 100 mL⁻¹) de acuerdo con las técnicas de APHA (2012). Los parámetros fisicoquímicos fueron evaluados de acuerdo con diferentes técnicas (Boyd, 1981; Contreras, 1994; Rodier, 1981; Wetzel y Likens, 2000).

Para estimar el contenido de coliformes totales y fecales, se tomó una muestra de agua en bolsas estériles WhirlPack de 100 ml en cada localidad y visita realizada. Todas las muestras de agua fueron refrigeradas en condiciones de oscuridad hasta su traslado al laboratorio. La evaluación fue con una prueba estándar de tubo múltiple y los resultados se reportan como el número más probable (NMP; APHA, 2012).

4.2.2. Recolecta de zooplancton

La recolecta del zooplancton se realizó de acuerdo con el método de Nandini et al. (2019) que consiste en la filtración de 80 litros de agua en una cubeta, posteriormente el agua fue filtrada con una red de plancton con abertura de malla de 60 µ. Las muestras fueron conservadas en frascos de 250 mL con formaldehído al 4.0 %, y detergente para disminuir la tensión superficial (Schwöerbel, 1975).

4.2.3. Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

El ICA de Dinius (1987) está conformado por diez parámetros físicos y químicos (oxígeno disuelto, conductividad, temperatura del aire y agua, pH, nitratos, color, dureza, DBO₅, alcalinidad y cloro) y dos microbiológicos (coliformes totales y fecales) y fue obtenido a partir de las variables fisicoquímicas medidas *in situ* y las lecturas en laboratorio.

Para la realización de cálculo del ICA, primero se asignaron pesos específicos (W_i) a cada parámetro, de acuerdo con su importancia dentro de los lagos, los pesos dan importancia a los puntajes, siendo todos ponderados de acuerdo con la importancia de los pesos y luego son multiplicados. La suma ponderada, donde cada puntaje es multiplicado por su peso y los productos son sumados para obtener el índice si los pesos son iguales para cada puntaje. Estos pesos van de acuerdo con un rango de 1 a 4. También se asignó un subíndice (I_i) a cada parámetro, estos son dados mediante un valor nominal o numérico, con previa comparación del valor del parámetro con un rango establecido (Dinius, 1987). El ICA es medido en una escala de 0 a 100 (Tabla 1).

Tabla 1. Clases de calidad e intervalos representativos para el índice de Dinius.

Calidad	Intervalo
Excelente	91-100
Buena	81-90
Regular	51-80
Mala	41-50
Muy mala	0-40

4.2.4. Estado trófico del ecosistema

El estado trófico de los lagos, fue estimado de acuerdo con el índice del estado trófico (IET) de Carlson (1977), que utiliza los valores medios anuales de la transparencia, concentraciones de clorofila “a” y contenido total del fósforo y ortofosfatos. Este índice proporciona valores que pueden variar entre 0 (oligotrofia) y 100 (eutrofia), situándose en torno a 50 el límite con la mesotrofia (Tabla 2).

Tabla 2. Escala del Índice del Estado Trófico (IET).

Clasificación trófica	IET
Oligotrófico	<30 - 40
Mesotrófico	40 - 50
Eutrófico	50 - 70
Hipertrófico	70 - 100

4.2.5. Identificación y abundancia de las especies del zooplancton

Para la identificación de la Subclase Copépoda y Suborden Cladóceras se realizaron preparaciones temporales para distinguir partes importantes para el reconocimiento de las especies, con la ayuda de las claves propuestas por Smirnov (1971); Pennak (1979); Thorp y Covich (2001); Elías-Gutiérrez y Váldez-Moreno (2008).

Para la identificación del Phylum Rotífera, se extrajeron los rotíferos con ayuda de tubos capilares y un microscopio estereoscópico (Nikon SMZ 1500). La identificación se llevó a cabo examinando la estructura del *trophi* utilizando la técnica de Sarma (1999) y Elías-Gutiérrez et al. (1999), donde se lleva a cabo la desintegración del organismo colocándolo en un portaobjetos y añadiendo unas gotas de hipoclorito de sodio al 5%, una vez desintegrados los tejidos se procede a la observación de las partes mandibulares. Todos los organismos fueron depositados en la Colección Acuática de Flora y Fauna del Centro de Investigaciones Biológicas UAEM (CAFF-CIB-UAEM).

Para conocer la abundancia del zooplancton se realizó un análisis cuantitativo colocando 1 mL de cada muestra homogenizada en una cámara Sedgwick-Rafter, los conteos se llevaron a cabo tomando tres transectos al azar en tres cámaras por muestra, en un microscopio óptico Olympus CX 31. Los resultados se ajustaron al volumen de agua colectada, empleando la siguiente fórmula (Wetzel y Likens, 2000):

$$\text{Org/mL} = \frac{(C) (1000)}{(L)(D)(W)(S)}$$

Donde:

C = Número de organismos contados

L = Longitud de la cámara Sedgewick Rafter

D = Profundidad del transecto

W = Amplitud del transecto

S = Número de transectos

4.2.6. Índice de Shannon-Wiener

Según Bartram y Balance (1996), los índices de diversidad se aplican en situaciones de contaminación física o tóxica que impone un estrés sobre los organismos. Los ecosistemas estables se caracterizan generalmente por una alta diversidad de especies, donde cada especie está representada por pocos individuos. Aunque la diversidad se puede reducir por disturbios o estrés antropogénico, algunas condiciones naturales también pueden reducir la diversidad (como cuerpos de agua pobres en nutrientes) y resulta fundamental que los índices de diversidad sean usados para comparar sitios de características físicas y químicas similares.

Se uso el índice de diversidad de Shannon-Weiner porque combina los datos de riqueza y abundancia. El número de especies indica la diversidad del sistema y la distribución del número de individuos entre las especies y usualmente cae entre 1.5 y 3.5 y no sobrepasa 4.5. Un índice alto indica alta diversidad.

$$H = -\sum (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

H = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

p_i = proporción del total de la muestra que corresponde a la muestra i .

La escala de contaminación para este índice es de acuerdo con lo reportado por Wilhm y Dorris (1968): Valores: 0-1.5: muy contaminado, 1.5-3.0: medianamente contaminado y 3.0-5.0: no contaminado.

4.2.7. Diagrama de Olmstead-Tukey

Para jerarquizar la dominancia de las especies se realizó un diagrama de Olmstead-Tukey, que permite clasificar a las especies como dominantes, constantes, ocasionales y raras. Esta prueba no paramétrica, sirve para asociar dos variables continuas, a las que denominaron prueba de la suma del cuadrante del diagrama (Sokal y Rohlf, 1980). Se obtiene a partir de la relación entre la abundancia de los organismos y sus frecuencias de aparición. El criterio de discriminación se basa en la mediana respectiva del logaritmo de la sumatoria de la abundancia absoluta mediana para el eje de las “X” y de la mediana de la frecuencia de aparición relativa para el eje de las “Y”. Al trazar ambas sobre el plano cartesiano se perfilan cuatro cuadrantes. Las especies dominantes, son aquellas que presentan la densidad y la frecuencia mayor a la mediana. Las constantes presentan densidades menores a la mediana y la frecuencia mayor a la mediana. Las ocasionales son las que presentan densidad mayor a la mediana y frecuencia menor a la mediana. Por último, las especies raras presentan densidades y frecuencias menores a ambas medianas (Varona-Cordero y Gutiérrez, 2003).

4.2.8. Análisis de datos

La normalidad de las variables físicas, químicas y biológicas fue verificada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levéne. Para los datos con distribución normal se usó Análisis de Varianza (ANDEVA), Para el caso de variables que no presentaran una distribución normal ni homogeneidad de varianza se utilizó las pruebas de Kruskal-Wallis, para analizar la existencia de diferencias significativas entre los resultados. En todas las pruebas se uso una $p \leq 0.05$. Los datos fueron procesados con el software STATISTICA versión 7.

Para la caracterización fisicoquímica de los sitios de estudio se realizó con un análisis de componentes principales (ACP). Para este análisis, la matriz incluyó los sitios de estudio y los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos; el ACP se realizó con la correlación de Pearson. Con el fin de evaluar el nivel de similitud de los sitios de estudio por sus características de parámetros fisicoquímicos y sus comunidades biológicas, se elaboró un análisis de agrupación

jerárquica por correlación de Pearson (AJCP). El dendrograma se construyó con el método de unión por promedios no ponderados y corte automático por entropía. El análisis AJCP comprendió los datos de los índices ecológicos, las abundancias promedio de las especies por sitio de estudio y el promedio de los parámetros fisicoquímicos. Los datos empleados para el ACP y AJCP fueron previamente estandarizados con la ecuación $\ln(x+1)$. El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico XLSTAT versión 2020.

5. RESULTADOS

5.1. Evaluación de la calidad del agua de los lagos Zempoala y Tonatiahua

5.1.1. Análisis de componentes principales de Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

El análisis de componentes principales para las localidades y las variables fisicoquímicas del agua muestra el 63.47% de la varianza explicada en sus dos primeros componentes. El componente principal 1 (PC1) incluye el 48.50% de la varianza, todas las estaciones de muestreo del lago Tonatiahua, excepto E3, se relacionaron con variables como temperatura, oxígeno disuelto (OD), total de sólidos disueltos (TSD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), mientras que las estaciones del lago Zempoala E1 y E4, estuvieron relacionadas con las variables pH, fósforo (P), nitrógeno amoniacal (NH_3N) y cloruros. El PC2 presentó el 14.97% de la varianza, en este componente se relacionaron las estaciones E3 del lago Tonatiahua y E2 y E3 del lago Zempoala, concernientes con las variables alcalinidad, dureza, coliformes totales y fecales (Fig. 3).

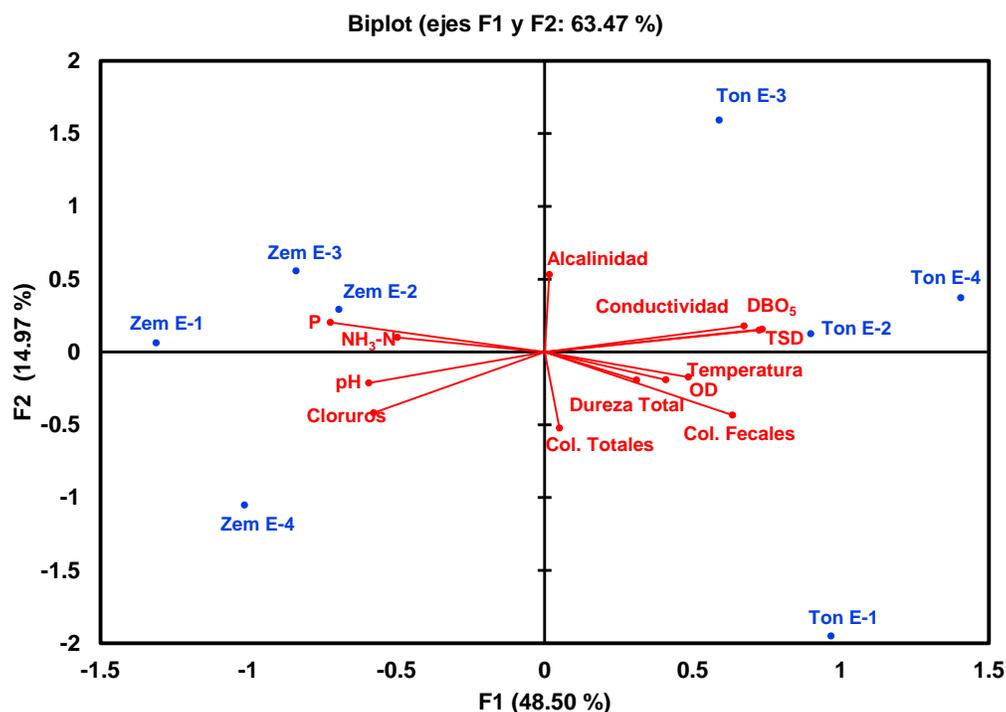


Figura 3. Diagrama del análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas de los lagos Zempoala y Tonatiahua.

5.1.2. Cálculo del Índice de calidad de agua (ICA)

Los valores del ICA durante el periodo de estudio permanecieron por debajo de 80 (rango de 48.5 a 78.8) en una escala de 0 a 100, con una media global de 68.21 ± 8.8 . El análisis de manera espacial exhibe que el lago con el valor promedio más alto fue Tonatiahua (71.5 ± 3.4), mientras que el valor más bajo se observó en Zempoala (64.9 ± 8.8), lo que representa calidad del agua regular (Fig. 4a). Los valores no exhibieron variaciones espaciales, todas las estaciones en ambos lagos exhibieron valores entre 63.0 a 74.3, lo que lo caracteriza como aguas regulares (Fig. 4b). En cuanto a la variación temporal, se registró los puntajes más altos en marzo en ambos lagos y noviembre en Tonatiahua, consideradas aguas regulares; en tanto que, en febrero Zempoala exhibió el valor mínimo (48.5) considerando a este mes como agua de mala calidad (Fig.4c). Con base en los resultados obtenidos con la prueba de ANOVA se observa que el lago Zempoala muestra diferencia significativa, mientras que el lago Tonatiahua con la prueba de Kruskal Wallis no presenta diferencias significativas.

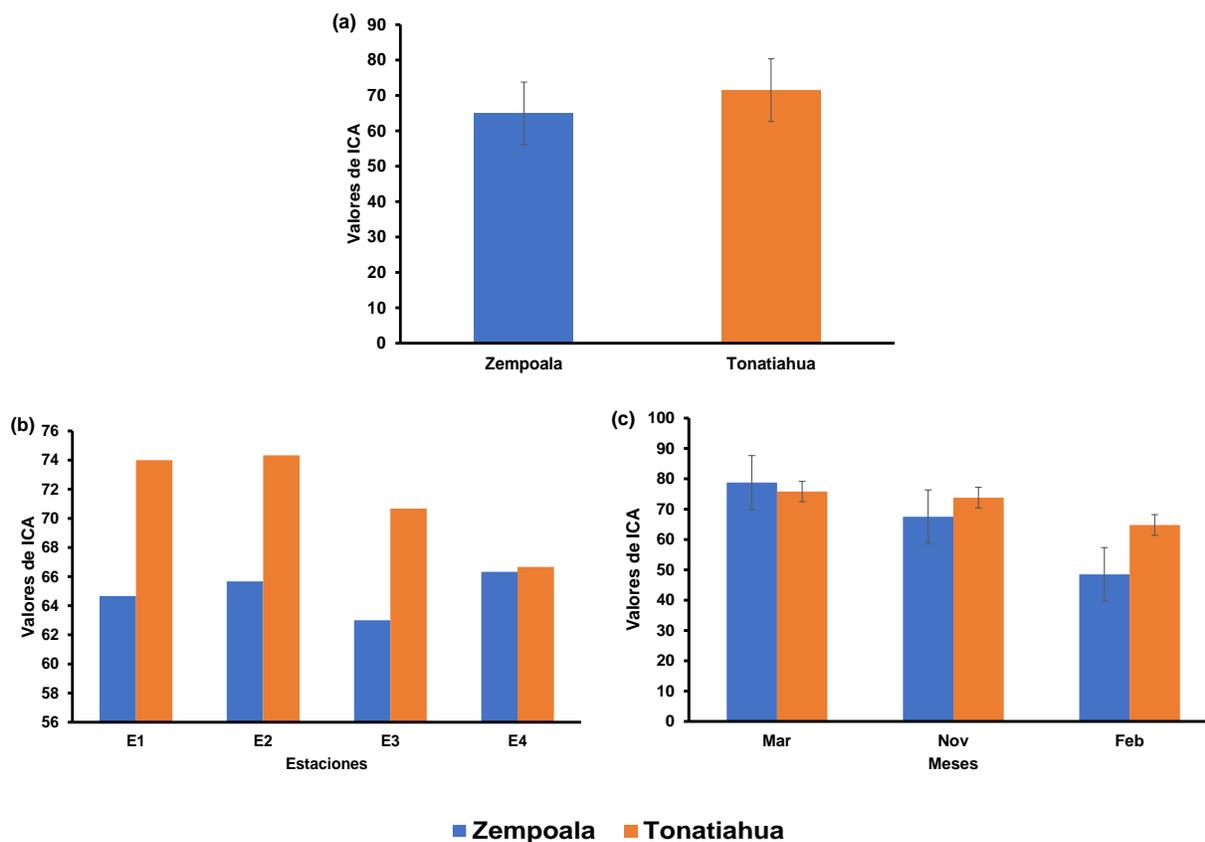


Figura 4. Resultados del índice de Calidad del Agua (ICA) en los lagos Zempoala y Tonatiahua. (a) Variación de puntajes entre ambos lagos, (b). Valores medios entre estaciones en ambos lagos. (c) Valores por periodos de colecta en ambos lagos.

5.2. Cálculo del Estado Trófico de Carlson.

En los tres meses de muestreo se observó que los lagos Zempoala y Tonatiahua se mantienen en un estado oligotrófico. En el lago Zempoala se registró el valor más alto que fue de 24, seguido de noviembre con 21 y el mínimo de 18 en febrero. En el lago Tonatiahua se registró el valor más bajo con un total de 8, el más alto se registró en noviembre con un valor de 19, seguido de marzo con un valor de 18 (Fig. 5). Con base en los resultados obtenidos con la prueba de Kruskal Wallis se observa que los lagos Zempoala y Tonatiahua no presentan diferencias significativas al presentar valores de $p= 0.07$ y 0.7 respectivamente.

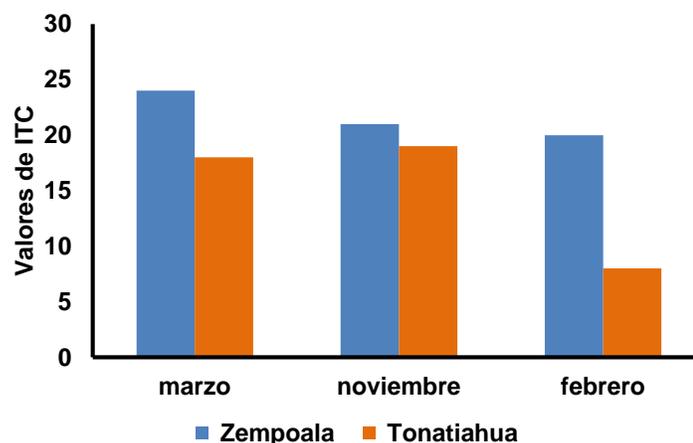


Figura 5. Valores del Índice del Estado Trófico de Carlson.

5.3. Estructura de las comunidades del zooplancton.

Con base a las muestras analizadas en los tres meses de estudio, se registraron 64 especies, clasificadas en dos Filos, tres clases, cuatro órdenes, 22 familias y 36 géneros. Del total de las especies, 50 pertenecen al grupo de rotíferos (77%), doce son del grupo de cladóceros (19%) y dos copépodos (3%). El orden Ploimida fue el más representado con un total de 14 familias (65%), mientras que la familia Brachionidae presentó mayor número de géneros (cinco), seguido de la familia Notommatidae (tres) en tanto que el género *Lecane* exhibió el mayor número de especies (nueve) (Tabla 3).

Se colectó un total de 19,711 org/mL, de estos la mayor abundancia correspondió a los rotíferos con 13,536 org/mL (68.7%), seguido de los cladóceros con 4,318 org/mL (21.9%) y los menos abundantes fueron los copépodos (1,857 org/mL, 9.4%).

5.3.1. Estructura de las comunidades del zooplancton de los lagos Zempoala y Tonatiahua.

En cuanto al análisis por lago se observa que Tonatiahua fue el que presentó el mayor número de especies, con un total de 57, de las cuales 46 pertenecen al grupo de los rotíferos, nueve a los cladóceros y dos copépodos, mientras que en Zempoala se registraron 42 especies (29 rotíferos, 11 cladóceros y dos copépodos). De las 64 especies reportadas, 33 estuvieron presentes en ambos lagos (24 rotíferos, siete cladóceros y dos especies de copépodos), nueve especies fueron exclusivas del lago Zempoala, cuatro rotíferos (*A. multiceps*, *N. pachyura*, *T. enlongata* y *F. longiseta*) y tres cladóceros (*Chydorus* sp, *P. denticulatus* y *S. serrulatus*), en tanto que 22 especies fueron exclusivas del lago Tonatiahua, 21 rotíferos y un cladócero (Tabla 4).

El lago Zempoala fue el que tuvo el valor máximo de abundancia con 16,294 org/mL, representando el 82.7% de la abundancia total, de estos 12,110 org/mL fueron rotíferos (64.8%), 3,325 org/mL (17.8%) cladóceros y 859 org/mL (4.6%) copépodos, mientras que la menor abundancia se observó en el lago Tonatiahua 3,417 org/mL, que al igual que en Zempoala los rotíferos exhibieron la mayor abundancia con 1,426 org/mL (7.2%), seguido de los copépodos con 998 org/mL (5.1%) y los cladóceros (993 org/mL, 5.0%; Tabla 4).

Tabla 3. Listado de las especies encontradas en los lagos Zempoala y Tonatiahua.

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES	Zempoala	Tonatiahua	
Rotífera	Eurotatoria	Ploimida	Asplacnidae	<i>Asplanchna</i>	<i>A. multiceps</i> (Schrank, 1793)	X		
					<i>A. priodonta</i> (Gosse, 1850)	X	X	
					<i>A. sieboldii</i> (Leydig, 1854)	X	X	
			Brachionidae	<i>Brachionus</i>	<i>B. havanaensis</i> (Rousselet, 1911)			X
					<i>Kellicottia</i>	<i>K. bostoniensis</i> (Rousselet, 1908)	X	X
					<i>Keratella</i>	<i>K. americana</i> (Carlin, 1943)	X	X
						<i>K. cochlearis</i> (Gosse, 1851)		X
					<i>Platyas</i>	<i>P. patulus</i> (Müller, 1786)	X	X
						<i>P. quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832)	X	X
			Dicranophoridae	<i>Aspelta</i>	<i>A. lestes</i> (Harring y Myers, 1928)			X
					<i>Dicranophorus</i>	<i>D. forcipatus</i> (Müller 1785)		X
			Epiphanidae	<i>Epiphanes</i>	<i>E. clavatula</i> (Ehrenberg, 1832)	X	X	
			Euchlanidae	<i>Euchlanis</i>	<i>E. dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)	X	X	
			Lecanidae	<i>Lecane</i>	<i>L. bulla</i> (Gosse, 1851)	X	X	
					<i>L. closteroerca</i> (Schmarda, 1859)		X	
					<i>L. hamata</i> (Schmarda, 1859)		X	
					<i>L. flexilis</i> (Gosse, 1886)		X	
					<i>L. inermis</i> (Bryce, 1892)	X	X	
					<i>L. ludwigi</i> (Eckstein, 1883)	X	X	
					<i>L. luna</i> (Müller, 1776)	X	X	
					<i>L. lunaris</i> (Ehrenberg, 1834)	X	X	
	<i>L. obtusa</i> (Murray, 1913)		X					
Lepadellidae	<i>Colurella</i>	<i>C. uncinata</i> (Müller, 1773)		X				

Continuación Tabla 3.

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES	Zempoala	Tonatiagua
Rotífera	Eurotatoria	Ploimida	Lepadellidae	<i>Lepadella</i>	<i>L. patella</i> (Müller, 1773)	X	X
					<i>L. triptera</i> (Ehrenberg, 1830)		X
					<i>L. ovalis</i> (Müller, 1773)		X
				<i>Squatinella</i>	<i>S. mutica</i> (Ehrenberg, 1832)		X
			Mytilinidae	<i>Lophocaris</i>	<i>L. salpina</i>	X	X
					<i>Mytilina</i>	<i>M. mucronata</i> (Müller, 1773)	
					<i>M. ventralis</i> (Ehrenberg, 1834)	X	X
			Notommatidae	<i>Cephalodella</i>	<i>C. apocolea</i> (Myers, 1924)		X
					<i>C. catellina</i> (Müller, 1786)		X
					<i>C. forficula</i> (Ehrenberg, 1830)		X
					<i>C. gibba</i> (Ehrenberg, 1830)		X
				<i>Notommata</i>	<i>N. pachyura</i> (Gosse, 1886)	X	
				<i>Eothinia</i>	<i>E. thoides</i> (Wulfert, 1935)		X
			Proalidae	<i>Proales</i>	<i>P. decipines</i> (Ehrenberg, 1832)	X	X
			Scaridiidae	<i>Scaridium</i>	<i>S. longicaudum</i> (Müller, 1786)		X
			Synchaetidae	<i>Synchaeta</i>	<i>Synchaeta</i> sp	X	X
				<i>Polyarthra</i>	<i>P. vulgaris</i> (Carlin, 1943)	X	X
			Trichocercidae	<i>Trichocerca</i>	<i>T. elongata</i> (Gosse, 1886)	X	
					<i>T. porcellus</i> (Gosse, 1851)		X
					<i>T. similis</i> (Wierzejski, 1893)	X	X
<i>T. tenuir</i> (Gosse, 1886)		X					
<i>T. pocillum</i> (Müller, 1776)	X	X					
	<i>T. tetractis</i> (Ehrenberg, 1830)	X	X				

Continuación Tabla 3.

PHYLLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES	Zempoala	Tonatiagua	
Rotífera	Eurotatoria	Gnesiotrocha	Testudinellidae	<i>Testudinella</i>	<i>T. emarginula</i> (Stenroos, 1898)	X	X	
					<i>T. patina</i> (Hermann, 1783)	X	X	
			Trochosphaeridae	<i>Filinia</i>	<i>F. longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	X		
					<i>F. pejleri</i> (Zacharias, 1898)	X	X	
Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca	Bosminidae	<i>Bosmina</i>	<i>B. longirostris</i> (Müller 1785)	X	X	
					Chydoridae	<i>Alona</i>	<i>Alona</i> sp (Baird, 1843)	X
			<i>A. gutata</i> (Sars, 1872)	X			X	
			<i>Camptocercus</i>	<i>C. dadayi</i> (Stingelin, 1913)			X	X
				<i>C. sphaericus</i> (Müller, 1785)			X	X
			<i>Chydorus</i>	<i>Chydorus</i> sp			X	
			<i>Pleuroxus</i>	<i>P. denticulatus</i> (Birge, 1879)	X			
			Daphnidae	<i>Daphnia</i>	<i>D. laevis</i> (Birge, 1878)	X	X	
					<i>D. parvula</i> (Fordyce, 1901)		X	
					<i>Ceriodaphnia</i>	<i>C. reticulata</i> (Jurine, 1820)	X	X
					<i>Simocephalus</i>	<i>S. mixtus</i> (Sars, 1903)	X	X
<i>S. serrulatus</i> (Koch, 1841)	X							
Maxilopoda	Calanoida	Diaptomidae	<i>Leptodiaptomus</i>	<i>L. cuahutemoci</i> (Osorio-Tafall, 1941)	X	X		
				Cyclopoide	<i>Tropocyclops</i>	<i>T. prasinus</i> (Fisher, 1860)	X	X

Tabla 4. Riqueza específica y abundancia (org/mL) zooplanctónica en los lagos Zempoala y Tonatiahua.

Especies	Zempoala	Tonatiahua	Especies	Zempoala	Tonatiahua
<i>A. multiceps</i>	1		<i>C. forficula</i>		2
<i>A. priodonta</i>	526	12	<i>C. gibba</i>		7
<i>A. sieboldii</i>	42	15	<i>N. pachyura</i>	5	
<i>B. havaenensis</i>		1	<i>E. thoides</i>		1
<i>K. bostoniensis</i>	10,241	451	<i>P. decipines</i>	1	9
<i>K. americana</i>	252	89	<i>S. longicaudum</i>		1
<i>K. cochlearis</i>		23	<i>Synchaeta</i> sp	267	153
<i>P. patulus</i>	14	2	<i>P. vulgaris</i>	2	3
<i>P. quadricornis</i>	10	4	<i>T. elongata</i>	1	
<i>A. lestes</i>		1	<i>T. porcellus</i>		13
<i>D. forcipatus</i>		4	<i>T. similis</i>	326	86
<i>E. clavatula</i>	50	316	<i>T. tenuir</i>		1
<i>E. dilatata</i>	10	54	<i>T. pocillum</i>	145	59
<i>L. bulla</i>	56	29	<i>T. tetractis</i>	9	26
<i>L. closterocerca</i>		6	<i>T. emarginula</i>	1	1
<i>L. hamata</i>		1	<i>T. patina</i>	6	10
<i>L. flexilis</i>		2	<i>F. longiseta</i>	20	
<i>L. inermis</i>	5	6	<i>F. pejleri</i>	45	11
<i>L. ludwigi</i>	2	2	<i>B. longirostris</i>	521	73
<i>L. luna</i>	46	9	<i>A. gutata</i>	8	4
<i>L. lunaris</i>	12	11	<i>Alona</i> sp	26	17
<i>L. obtusa</i>		6	<i>C. dadayi</i>	6	4
<i>C. uncinata</i>		1	<i>C. sphaericus</i>	123	47
<i>L. patela</i>	1	12	<i>Chydorus</i> sp	3	
<i>L. triptera</i>		1	<i>P. denticulatus</i>	13	
<i>L. ovalis</i>		6	<i>D. laevis</i>	902	700
<i>S. mutica</i>		1	<i>D. parvula</i>		30
<i>L. salpina</i>	11	4	<i>C. reticulata</i>	1,721	53
<i>M. ventralis</i>	3	9	<i>S. mixtus</i>	1	35
<i>M. mucronata</i>		3	<i>S. serrulatus</i>	1	
<i>C. apocolea</i>		1	<i>L. cuabutemoci</i>	821	780
<i>C. catellina</i>		1	<i>T. prasinus</i>	38	208

5.3.2. Riqueza específica y abundancia en los lagos Zempoala y Tonatiahua por meses

En el mes de marzo se registró un total de 45 especies, de estas 33 pertenecen al grupo de los rotíferos, diez a los cladóceros y dos a los copépodos. Con base en lo registrado, en el mes de marzo del 2019 se observó que el lago Zempoala exhibió un total de 27 especies de las cuales, 16 pertenecen al grupo Rotífera lo que corresponde al 59.2%, seguidas de los cladóceros con nueve especies (33.3%) y por último los copépodos con dos especies (7.4%), mientras que el lago Tonatiahua, presentó un total de 33 especies, 25 fueron rotíferos (75.7%), seis cladóceros (18.1%) y dos especies corresponden a los copépodos (6%) (Tabla 5).

Así mismo para marzo se observó que al menos 15 especies son compartidas en ambos lagos, mientras que los rotíferos *A. multiceps*, *P. patulus*, *P. quadricornis*, *L. ludwigi*, *N. pachyura* y los cladóceros *Chydorus sp.*, *P. denticulatus*, *S. mixtus* y *S. serrulatus* son especies exclusivas del lago Zempoala. En tanto que los rotíferos *K. cochlearis*, *A. lestes*, *L. closterocerca*, *L. flexilis*, *L. lunarias*, *L. ovalis*, *L. patela*, *L. triptera*, *S. mutica*, *M. mucronata*, *C. apocolea*, *C. catellina*, *C. gibba*, *E. thoides*, *P. decipines*, *T. tenuis* y *T. porcellus*, así como el cladóceros *B. longirostris* son especies exclusivas del lago Tonatiahua (Tabla 5).

Para este mes se capturó un total de 477 org/mL, de estos 306 org/mL correspondieron a los rotíferos (64.2%), 120 org/mL a los cladóceros (25.2%) y 51 org/mL a los copépodos (10.6%). Con el análisis por lago, se registró que Zempoala fue el que exhibió el valor máximo de abundancia con 295 org/mL, representando el 61.8% de la abundancia total, de estos 195 org/mL fueron rotíferos (40.92%), 87 org/mL (18.24%) cladóceros y 13 org/mL (2.7%) copépodos, mientras que la menor abundancia se observó en el lago Tonatiahua, con 182 org/mL, que al igual que en Zempoala los rotíferos exhibieron la mayor abundancia (111 org/mL; 23.3%), seguido de los copépodos con 38 org/mL (8.0%) y los cladóceros con 33 org/mL (6.9%; Tabla 5).

En el mes de noviembre se registró un total de 42 especies de las cuales 33 (78.6%) fueron rotíferos, siete (16.7%) cladóceros y dos (4.8%) copépodos. En el lago Zempoala se registró un total de 18 especies, las que corresponden a 12 especies de rotíferos (66.7%), cuatro de cladóceros

(22.2%) y dos de copépodos (11.1%). Mientras que en el lago Tonatiahua se registraron 37 especies pertenecientes a 28 rotíferos (75.7%), siete cladóceros (18.9%) y dos copépodos (5.4%) (Tabla 5).

En noviembre se registraron 13 especies de rotíferos, que no fueron registradas en el mes de marzo, ellas son: *A. priodonta*, *F. longiseta*, exclusivas del lago Zempoala, mientras que *B. havaenensis*, *L. salpina*, *C. uncinata*, *L. bulla*, *L. hamata*, *C. forficula*, *S. longicaudum*, *D. forcipatis* solo se registraron en el lago Tonatiahua y las especies *E. clavatula* *A. sieboldii*, *F. pejler* fueron compartidas entre ambos lagos (Tabla 5)

En ambos lagos se compartieron 19 especies, mientras que los rotíferos *A. multiceps*, *A. priodonta*, *P. patulus*, *F. longiseta*, *N. pachyura* y los cladóceros *Chydorus sp*, *P. denticulatus*, *S. mixtus* y *S. serrulatus* fueron exclusivas de Zempoala. Los rotíferos *A. lestes*, *L. closterocerca*, *L. flexilis*, *L. hamata*, *L. lunarias*, *L. ovalis*, *L. patela*, *L. triptera*, *L. salpina*, *S. mutica*, *M. mucronata*, *C. apocolea*, *C. catellina*, *C. forficula*, *C. gibba*, *E. thoides*, *Scaridium longicaudum*, *P. decipines*, *T. tenuir* y *T. porcellus*, y los cladóceros *A. gutata*, *C. dadayi*, *D. parvula*, *C. reticulata* son especies exclusivas de Tonatiahua (Tabla 5).

Se reportó un total de 4,708 org/mL, de estos 1,282 org/mL correspondieron a los rotíferos (27.2%), 2,502 org/mL a los cladóceros (53.1%) y 924 org/mL a los copépodos (19.6%). Con el análisis por lagos, se registró que Zempoala fue el que exhibió el valor máximo de abundancia con 2,889 org/mL, representando el 61.4% de la abundancia total, de estos 1,855 org/mL fueron cladóceros (39.4%), 681 org/mL (14.5%) rotíferos y 353 org/mL (7.5%) copépodos, mientras que la menor abundancia se observó en el lago Tonatiahua, fue de 1,819 org/mL (40.1%), que al igual que en Zempoala los cladóceros exhibieron la mayor abundancia (647 org/mL; 14.33%), seguido de los rotíferos (601 org/mL; 13.2%) y los copépodos con 571 org/mL (12.6%; Tabla 5).

En el mes de febrero se registró un total de 31 especies de las cuales 24 (77.4%) fueron rotíferos, cinco (16.1%) cladóceros y dos (6.6%) copépodos. En el lago Zempoala se registró un total de 22 especies, las que corresponden a 16 especies de rotíferos (72.7%), cuatro de cladóceros (18.2%) y dos de copépodos (9.1%). Mientras que en el lago Tonatiahua se registraron 27 especies pertenecientes a 20 rotíferos (74.1%), cinco cladóceros (18.5%) y dos copépodos (7.4%). Se

registró en ambos lagos el rotífero *K. americana*, que no había sido registrada en marzo y noviembre. (Tabla 5)

Se observó que 18 especies son compartidas en ambos lagos, mientras que los rotíferos *P. quadricornis*, *L. lunaris*, *P. patela*, *P. decipines* son especies exclusivas del lago Zempoala. En tanto que los rotíferos *E. dilatata*, *L. closterocerca*, *L. flexilis*, *L. inermis*, *L. ovalis*, *M. mucronata*, *T. tetractis*, *T. petina* y el cladóceros *S. mixtus* son especies exclusivas del lago Tonatiahua (Tabla 5).

Se registró un total de 14,526 org/mL, de estos 13,110 org/mL correspondieron a los rotíferos (27.2%), 2,502 org/mL a los cladóceros (53.1%) y 924 org/mL a los copépodos (19.6%). Con el análisis por lagos, se registró que Zempoala fue el que exhibió el valor máximo de abundancia con 13,110 org/mL, representando el 90.3% de la abundancia total, de estos 11,235 org/mL fueron rotíferos (77.4%), 1,382 org/mL (9.5%) cladóceros y 493 org/mL (3.4%) copépodos, mientras que la menor abundancia se observó en el lago Tonatiahua, con un total de 1,416 org/mL (9.7%), de los cuales 754 org/mL (5.2%) fueron rotíferos, seguido de los copépodos con 379 org/mL (2.6%) y por ultimo los cladóceros (283 org/mL, 2.6%) (Tabla 5).

Tabla 5. Riqueza específica y abundancia (org/mL) zooplanctónica por meses de muestreo en los lagos Zempoala y Tonatiahua.

Especies	Marzo		Noviembre		Febrero	
	Zempoala	Tonatiahua	Zempoala	Tonatiahua	Zempoala	Tonatiahua
<i>A. multiceps</i>	1					
<i>A. priodonta</i>			494		32	12
<i>A. sieboldii</i>			11	1	31	14
<i>B. havaenensis</i>				1		
<i>K. bostoniensis</i>			11	39	10230	412
<i>K. americana</i>					252	89
<i>K. cochlearis</i>		1		22		
<i>P. patulus</i>	4		8		2	2
<i>P. quadricornis</i>	3		5	4	2	
<i>A. lestes</i>		1				
<i>D. forcipatus</i>				4		
<i>E. clavatula</i>			5	313	45	3
<i>E. dilatata</i>	10	12		41		1
<i>L. bulla</i>				12	56	17
<i>L. closterocerca</i>		1		4		1
<i>L. hamata</i>				1		
<i>L. flexilis</i>		1				1
<i>L. inermis</i>	5	1				5
<i>L. ludwigi</i>	2			2		
<i>L. luna</i>	1				45	9
<i>L. lunaris</i>		11			12	
<i>L. obtusa</i>				6		
<i>C. uncinata</i>				1		
<i>L. patela</i>		1		11	1	
<i>L. triptera</i>		1				
<i>L. ovalis</i>		1				5
<i>S. mutica</i>		1				
<i>L. salpina</i>				2	11	2
<i>M. ventralis</i>	1	9	2			
<i>M. mucronata</i>		1		1		1
<i>C. apocolea</i>		1				
<i>C. catellina</i>		1				
<i>C. forficula</i>				2		
<i>C. gibba</i>		1		6		
<i>N. pachyura</i>	4		1			
<i>E. thoides</i>		1				
<i>P. decipines</i>		1		8	1	
<i>S. longicandum</i>				1		

Continuación Tabla 5.

Especies	Marzo		Noviembre		Febrero	
	Zempoala	Tonaticahuatl	Zempoala	Tonaticahuatl	Zempoala	Tonaticahuatl
<i>Synchaeta</i> sp					267	153
<i>P. vulgaris</i>	1		1	3		
<i>T. elongata</i>	1					
<i>T. porcellus</i>		3		10		
<i>T. similis</i>	2	11	78	55	246	20
<i>T. tenuis</i>		1				
<i>T. pocillum</i>	144	31		27	1	1
<i>T. tetractis</i>	9	16		5		5
<i>T. emarginula</i>	1	1				
<i>T. patina</i>	6	1		8		1
<i>F. longiseta</i>			20			
<i>F. pejeri</i>			45	11		
<i>B. longirostris</i>		5	153	10	368	58
<i>A. gutata</i>	8	1		3		
<i>Alona</i> sp	26	17				
<i>C. dadayi</i>	6	3		1		
<i>C. sphaericus</i>	27	4	88	22	8	21
<i>Chydorus</i> sp	3					
<i>P. denticulatus</i>	13					
<i>D. laevis</i>	2	3	565	563	335	134
<i>D. parvula</i>				30		
<i>C. reticulata</i>			1049	18	672	35
<i>S. mixtus</i>	1					35
<i>S. serrulatus</i>	1					
<i>L. cuabutemoci</i>	5	10	333	531	483	239
<i>T. prasinus</i>	8	28	20	40	10	140

5.3.3. Riqueza y abundancia de especies por lago y por estación.

5.3.3. 1. Lago Zempoala

Como ya se había mencionado anteriormente el lago Zempoala presentó un total de 42 especies, las cuales 33 fueron registradas en la estación E1, seguida de E3 con 31 especies y el mínimo de especies correspondió a E2 (18 especies). Las cuatro estaciones de muestreo comparten un total de 15 especies: nueve rotíferos, cuatro cladóceros y dos copépodos. El rotífero *A. multiceps* y los

cladóceros *Chydorus* sp y *S. serrulatus* son especies exclusivas del lago Zempoala, pero además se registró que se encuentran en una sola estación *A. multiceps* y *S. serrulatus* en E1 y *Chydorus* sp en E4 (Tabla 6).

Se registró un total de 16,294 org/mL, las estaciones E1 y E3 fueron las que exhibieron las abundancias máximas (4,039 org/mL y 4,959 org/mL respectivamente), mientras que E2 y E4 mostraron las mínimas (3,779 org/mL y 3,517 org/mL en el mismo orden). En las cuatro estaciones, los rotíferos fueron los que exhibieron abundancias más altas, con un máximo de 3,490 org/mL (E3) y un mínimo de 1,977 org/mL (E4), los cladóceros el registrado máximo fue de 1,266 org/mL (E3) y el mínimo de 242 org/mL (E2). Los copépodos tuvieron bajas abundancias, con un máximo en E4 (388 org/mL) y el valor mínimo de 114 org/mL en E2 (Tabla 6).

5.3.3.2. Lago Tonatiahua

El lago Tonatiahua presentó un total de 41 especies en E1, seguida de E2 con 31 especies y el mínimo de especies correspondió a E3 con 25 especies. Las cuatro estaciones de muestreo comparten un total de ocho especies (cinco rotíferos, un cladóceros y dos copépodos). Este lago presentó 14 especies exclusivas que en su totalidad correspondió al grupo de los rotíferos. Las especies *A. lestes*, *D. forcipatus*, *L. flexilis*, *L. triptera*, *S. mutica*, *C. apocolea*, *C. catellina*, *E. thoides*, *S. longicaudum*, *T. tenuis* se registraron únicamente en E1, *C. uncinata*, y *C. forficula* se encontraron en E2 y en E3 se registró *B. havaenensis* y *L. hamata* (Tabla 6).

Se reportó un total de 3,417 org/mL, se registró que las estaciones E2 y E4 fueron las que exhibieron las máximas abundancias (705 org/mL y 2,015 org/mL respectivamente), en tanto que E1 y E3 las mínimas (490 org/mL y 207 org/mL en el mismo orden). En las cuatro estaciones de estudio, la abundancia más alta de rotíferos se exhibió en E4 (648 org/mL) y un mínimo (106 org/mL) en E3, para los cladóceros el valor máximo fue de 787 org/mL en E4 y el mínimo en E1 (18 org/mL). Los copépodos tuvieron bajas abundancias, con un máximo en E4 (388 org/mL) y un mínimo de 114 org/mL en E2 (Tabla 6).

Tabla 6. Riqueza y abundancia (org/mL) de especies por lago y por estación.

Especies	Zempoala				Tonatiahua			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<i>A. multiceps</i>	1							
<i>A. priodonta</i>	205	61	116	144		1	2	9
<i>A. sieboldii</i>	10	8	7	17	1	2		12
<i>B. havaenensis</i>							1	
<i>K. bostoniensis</i>	2815	3117	3047	1262	63	347	4	37
<i>K. americana</i>	32	15	48	157	8	44	7	30
<i>K. cochlearis</i>					1	6	10	6
<i>P. patulus</i>	3	3	6	2				2
<i>P. quadricornis</i>	6	2		2				4
<i>A. lestes</i>					1			
<i>D. forcipatus</i>					4			
<i>E. clavatula</i>			7	43	1	1		314
<i>E. dilatata</i>		1	8	1		15	26	13
<i>L. bulla</i>	17		31	8	3	22	3	1
<i>L. closterocerca</i>					3		3	
<i>L. hamata</i>							1	
<i>L. flexilis</i>					2			
<i>L. inermis</i>		4		1	6			
<i>L. ludwigi</i>			2		2			
<i>L. luna</i>			8	38	3	4		2
<i>L. lunarias</i>	2		1	9	11			
<i>L. obtusa</i>						2	4	
<i>C. uncinata</i>						1		
<i>L. patela</i>	1				7	3	2	
<i>L. triptera</i>					1			
<i>L. ovalis</i>					5	1		
<i>S. mutica</i>					1			
<i>L. salpina</i>	2	4	3	2		4		
<i>M. ventralis</i>	2		1				4	5
<i>M. mucronata</i>					1		1	1
<i>C. apocolea</i>					1			
<i>C. catellina</i>					1			
<i>C. forficula</i>						2		
<i>C. gibba</i>					4	2	1	
<i>N. pachyura</i>	1		4					
<i>E. thoides</i>					1			
<i>P. decipines</i>	1				5	1	3	
<i>S. longicaudum</i>					1			

Continuación Tabla 6.

Especies	Zempoala				Tonatiahua			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<i>Synchaeta</i> sp	3	163	12	89		5	8	140
<i>P. vulgaris</i>				2	2			1
<i>T. elongata</i>			1					
<i>T. porcellus</i>					9		1	3
<i>T. similis</i>	20	35	128	143	5	39	5	37
<i>T. tenuis</i>					1			
<i>T. pocillum</i>	43	10	48	44	26	13	12	8
<i>T. tetractis</i>	2		7		9	1	4	12
<i>T. emarginula</i>			1		1			
<i>T. patina</i>	2		4		5	1	4	
<i>F. longiseta</i>	17			3				
<i>F. pejeri</i>	35			10				11
<i>B. longirostris</i>	66	79	247	129	1	61		11
<i>A. gutata</i>	2		6		3	1		
<i>Alona</i> sp	17		7	2				17
<i>C. dadayi</i>	5		1		1	1		2
<i>C. sphaericus</i>	38	12	20	53	7	8	22	10
<i>Chydorus</i> sp				3				
<i>P. denticulatus</i>	11		2					
<i>D. laevis</i>	89	85	239	489		29	7	664
<i>D. parvula</i>								30
<i>C. reticulata</i>	435	66	744	476	1	26		26
<i>S. mixtus</i>	1				5	3		27
<i>S. serrulatus</i>	1							
<i>L. cuabutemoci</i>	150	110	193	368	142	48	59	531
<i>T. prasinus</i>	4	4	10	20	135	11	13	49

5.3.4. Riqueza y abundancia de especies por lago y por meses.

5.3.4.1. Lago Zempoala

En el mes de marzo las estaciones E1 y E3 del lago Zempoala fueron las que registraron la mayor riqueza específica (16 y 18 especies respectivamente), mientras que E2 sólo presenta tres especies correspondientes al grupo de los rotíferos. Con una abundancia total de 295 org/mL, registrando los valores más altos en E1 y E3 con 112 y 114 org/mL respectivamente y una abundancia mínima en E2 de 15 org/mL. El rotífero *T. pocillum* fue el único que se mantuvo en las cuatro estaciones con una abundancia total de 144 org/mL representando la mayor abundancia en E3 con 48

org/mL y la mínima con 10 org/mL en E2. De los cladóceros *Alona* sp se presentó en las estaciones E1 (17 org/mL), E3 (7 org/mL) y E4 (2 org/mL) (Tabla 7).

En noviembre las estaciones E1 y E2 fueron las que exhibieron la mayor riqueza específica con 15 y 9 especies respectivamente. En este mes se registró una abundancia total de 2,889 org/mL, representada por 1,244 org/mL en la E4, seguido de la E1 con 854 org/mL y la abundancia mínima se registró en E2 con 155 org/mL. Del grupo de los rotíferos, la especie *A. priodonta* fue la que se mantuvo constante en las cuatro estaciones, registrando las abundancias más altas con 495 org/mL, representando la mayor abundancia en E1 con 200 org/mL y la mínima de 50 org/mL en E2. De los cladóceros la especie *C. reticulata* presentó la mayor abundancia con un total de 1,049 org/mL, siendo la E4 la que presentó la mayor abundancia con 409 org/mL y la mínima registrada en E2 con 15 org/mL. En cuanto a los copépodos, *L. cuabutemoci* fue la especie que presentó mayor abundancia con 333 org/mL, representada por la E1 con 125 org/mL como máximo y E2 con 10 org/mL como mínimo (Tabla 7).

En febrero las estaciones E3 y E4 registraron la mayor riqueza específica con 17 especies, seguido por E3 con 15 especies y la mínima fue de 8 especies en E1. Con una abundancia total de 13,110 org/mL, la estación que presentó una mayor abundancia fue E3 con un total de 4029 org/mL, seguido por E2 con 3,609 org/mL y la abundancia mínima se registró en E4 con 2,219 org/mL. Del grupo de rotíferos, la especie *K. bostoniensis*, de los cladóceros *C. reticulata* y de los copépodos *L. cuabutemoci* se presentaron constante en las cuatro estaciones, con las abundancias más altas, 10230 org/mL, 672 org/mL y 483 org/mL respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Riqueza y abundancia (org/mL) de especies por localidad y por meses en el lago Zempoala.

Especies	Marzo				Noviembre				Febrero			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<i>A. multiceps</i>	1											
<i>A. priodonta</i>					200	50	113	131	5	11	3	13
<i>A. sieboldii</i>					6			5	4	8	7	12
<i>K. bostoniensis</i>					2			9	2813	3117	3047	1253
<i>K. americana</i>									32	15	48	157
<i>P. patulus</i>	2		2		1	2	4	1		1		1
<i>P. quadricornis</i>	3				3			2		2		
<i>E. clavatula</i>								5			7	38
<i>E. dilatata</i>		1	8	1								
<i>L. bulla</i>									17		31	8
<i>L. inermis</i>		4		1								
<i>L. ludwigi</i>			2									
<i>L. luna</i>			1								7	38
<i>L. lunarias</i>									2		1	9
<i>L. patela</i>									1			
<i>L. salpina</i>									2	4	3	2
<i>M. ventralis</i>			1		2							
<i>N. pachyura</i>			4		1							
<i>P. decipines</i>									1			
<i>Synchaeta</i> sp									3	163	12	89
<i>T. elongata</i>			1									
<i>T. similis</i>				2	12	21	5	40	8	14	123	101
<i>P. vulgaris</i>				1				1				
<i>T. pocillum</i>	42	10	48	44					1			
<i>T. tetractis</i>	2		7									
<i>T. emarginula</i>			1									
<i>T. patina</i>	2		4									
<i>F. longiseta</i>					17			3				
<i>F. pejleri</i>					35			10				
<i>B. longirostris</i>					13	16	67	57	53	63	180	72
<i>A. gutata</i>	2		6									
<i>Alona</i> sp	17		7	2								

Continuación Tabla 7.

Especies	Marzo				Noviembre				Febrero			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<i>C. dadayi</i>	5		1									
<i>C. sphaericus</i>	16		11		17	10	8	53	5	2	1	
<i>Chydorus</i> sp				13								
<i>P. denticulatus</i>	11		2									
<i>D. laevis</i>	2				40	31	110	384	47	54	129	105
<i>C. reticulata</i>					380	14	246	409	55	52	498	67
<i>S. mixtus</i>	1											
<i>S. serrulatus</i>	1											
<i>L. cuabutemoci</i>	4		1		125	10	83	115	21	100	109	253
<i>T. prasinus</i>	1		7			1		19	3	3	3	1

5.3.4.2. Lago Tonatiahua

En marzo en Tonatiahua, E1 fue la que exhibió el mayor número de especies 27, seguida de E4 con 12 especies. Se registró una abundancia total de 182 org/mL, representado por la mayor abundancia en E4 con 70 org/mL, seguido por E1 con 68 org/mL y una abundancia mínima de 19 org/mL en E3. Los rotíferos *T. similis* y *T. pocillum* se mantuvieron constantes en las cuatro estaciones, siendo este último el que registró mayor abundancia con un total de 31 org/mL, donde la E1 fue la que representó un alto número de individuos con 11 org/mL y en la E3 con el valor mínimo de 3 org/mL (Tabla 8).

En noviembre las estaciones E2 y E3 exhibieron el mayor número de riqueza específica con 23 y 20 especies respectivamente y la E4 con una riqueza mínima de 15 especies. Se registró una abundancia total de 1,819 org/mL, representado por la E4 con la mayor abundancia registrada (1,360 org/mL), seguida por la E1 con 189 org/mL, mientras que la abundancia mínima se registró en E2 con 123 org/mL. Del grupo de los rotíferos la especie *K. bostoniensis* se mantuvo presente en las cuatro estaciones con una abundancia total de 39 org/mL, *E. clavatula* presentó una abundancia de 313 org/mL únicamente en E4. De los cladóceros, la especie *D. laevis* se presentó en las estaciones E2, E3 y E4 con un total de 563 org/mL, representado mayormente en la E4 con 559 org/mL. Del grupo de los copépodos, *L. cuabutemoci* y *T. prasinus* se mantuvieron constantes en las

4 estaciones, sin embargo, el primero fue el que presentó mayor abundancia con un total de 531 org/mL, representado en E4 (338 org/mL) y una abundancia mínima en E2 (25 org/mL) (Tabla 8).

En febrero la estación E1 exhibió la mayor riqueza específica con 20 especies, seguida por las estaciones E2 y E4 con 18 especies y la mínima fue registrada en E3 con 11 especies. La abundancia total fue de 1,416 org/mL, representando la mayor abundancia en E4 con 585 org/mL, seguido por E2 con 557 org/mL y una abundancia mínima de 41 org/mL en E3. De los rotíferos *K. americana*, *K. bostoniensis*, *L. bulla* y *T. similis* se mantuvieron en las cuatro estaciones de muestreo, siendo la primera especie la que muestra la abundancia más alta con 412 org/mL. De las ocho especies de cladóceros registrados en este mes, *C. sphaericus* se observó en las cuatro estaciones de muestreo, pero con abundancias bajas, *D. laevis* estuvo en tres estaciones, mostró la mayor abundancia con 105 org/mL en la estación E4. Las dos especies de copépodos registrados en el presente estudio estuvieron en las cuatro estaciones de muestreo, mostrando que *L. cuabutemoci* exhibe su abundancia máxima en la E4 (188 org/mL), mientras que *T. prasinus* muestra su máximo en E1 (103 org/mL; Tabla 8).

Tabla 8. Riqueza y abundancia (org/mL) de especies por localidad y por meses en el lago Tonatiahua.

Especies	Marzo				Noviembre				Febrero				
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	
<i>A. priodonta</i>										1	2	9	
<i>A. sieboldii</i>					1					1	1	12	
<i>B. havaenensis</i>						1							
<i>K. bostoniensis</i>					6	15	3	15		57	332	1	22
<i>K. americana</i>										8	44	7	30
<i>K. cochlearis</i>	1					6	10	6					
<i>P. patulus</i>													2
<i>P. quadricornis</i>								4					
<i>A. lestes</i>	1												
<i>D. forcipatus</i>					4								
<i>E. clavatula</i>								313		1	1		1
<i>E. dilatata</i>			11	1		15	14	12				1	
<i>L. bulla</i>						11	1			3	11	2	1
<i>L. closterocerca</i>	1				1		3			1			
<i>L. hamata</i>							1						
<i>L. flexilis</i>	1									1			
<i>L. inermis</i>	1									5			
<i>L. ludvigi</i>					2								
<i>L. luna</i>										3	4		2
<i>L. lunarias</i>	11												
<i>L. obtusa</i>						2	4						
<i>C. uncinata</i>						1							
<i>L. patela</i>	1				6	3	2						
<i>L. triptera</i>	1												
<i>L. ovalis</i>	1									4	1		
<i>S. mutica</i>	1												
<i>L. salpina</i>						2					2		
<i>M. ventralis</i>			4	5									
<i>M. mucronata</i>	1						1						1
<i>C. apocolea</i>	1												
<i>C. catellina</i>	1												
<i>C. forficula</i>						2							
<i>C. gibba</i>	1				3	2	1						
<i>E. thoides</i>	1												

Continuación Tabla 8.

	Marzo				Noviembre				Febrero			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<i>P. decipines</i>	1				4	1	3					
<i>S. longicandum</i>					1							
<i>Synchaeta</i> sp									5	8	140	
<i>P. vulgaris</i>					2			1				
<i>T. porcellus</i>				3	9		1					
<i>T. similis</i>	2	7	1	1	2	18		35	1	14	4	1
<i>T. tenuir</i>	1											
<i>T. pocillum</i>	11	9	3	8	14	4	9		1			
<i>T. tetractis</i>	5			11		1	4		4			
<i>T. emarginula</i>	1											1
<i>T. patina</i>	1				3	1	4		1			
<i>F. pejleri</i>								11				
<i>B. longirostris</i>		2		3		2		8	1	57		
<i>A. gutata</i>	1				2	1						
<i>Alona</i> sp				17								
<i>C. dadayi</i>	1			2		1						
<i>C. sphaericus</i>	2			2		2	17	3	5	6		
<i>D. laevis</i>		3				2	2	559		24	5	5
<i>D. parvula</i>								30			5	105
<i>C. reticulata</i>								18	1	26		
<i>S. mixtus</i>									5	3		8
<i>L. cuabntemoci</i>	4	1		5	111	25	57	338	27	22	2	184
<i>T. prasinus</i>	103	3		12	19	5	9	7	103	3	4	7

5.3.4.3. Índice de Shannon-Wiener

Los resultados generales del índice de Shannon-Wiener, exhibieron que el lago Zempoala un valor de 2.20 bits/ind lo que indica que presenta una calidad de agua medianamente contaminada, mientras que el lago Tonatiahua exhibió un valor de 3.69 bits/ind, lo que significa aguas no contaminadas.

Con base en los resultados obtenidos en cada uno de los lagos, se registró, que todas las estaciones en los tres meses de muestreo en el lago Zempoala, se observan valores mayores a 1.5, lo que representa una calidad de agua medianamente contaminada, excepto en las estaciones E2 y E4 en el mes de marzo y E1, E2 y E3 en el mes de febrero que exhibieron valores menores a 1.5,

lo que representan agua contaminada (Tabla 9). El lago Tonatiahua, en las localidades E3 en marzo, E4 (noviembre y febrero) exhibieron valores menos a 1.5 lo que representa calidad del agua contaminada, en tanto que la localidad E3 en noviembre se observa un valor alto (3.7), represnetando aguas no contaminadas, el resto de las estaciones en los tres meses de muestreo son considerdas aguas medianamente contaminadas (Tabla 9). Con base en los resultados obtenidos con la prueba de Kruskal Wallis, se registra que en los lagos Zempoala y Tonatiahua no existen diferencias significativas al registrar un valor p de 0.1 y 0.6 respectivamente.

Tabla 9. Índice de Shannon- Wiener por estaciones y meses en los lagos Zempoala y Tonatiahua

	Marzo				Noviembre				Febrero			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
Zempoala	2.3	0.8	2.0	0.8	1.7	1.9	1.7	1.8	0.5	0.7	1	1.7
Tonatiahua	2.7	1.6	1	2.2	1.7	2.6	3.7	1.4	1.8	1.6	2.2	0.9

5.3.4.4. Diagrama de Jerarquización de Olmstead-Tukey

El Diagrama de Olmstead-Tukey para la comunidad zooplanctónica en los lagos de Zempoala y Tonatiahua, muestra que la especie de cladóceros *D. laevis*, los copépodos *L. cuabutemoci* y *T. prasinus*, y los rotíferos *T. similis* y *K. bostoniensis* son especies comunes, mientras que el rotífero *L. luna* es especie accidental y los rotíferos *K. americana* y *Synchaeta* sp son especies frecuentes, todas ellas en ambos lagos (Figs. 6a y 6b). En cuanto a Zempoala, los rotíferos *L. bulla*, *C. sphaericus* y *T. tetractis* son especies ocasionales; en tanto que los rotíferos *A. multiceps*, *A. priodonta*, *A. sieboldii* y *P. patulus* y los cladóceros *C. reticulata* y *S. mixtus* son especies accidentales y como especie frecuente se registró a *E. clavatula* (rotífero, Fig. 6a). En Tonatiahua se presentaron diez especies ocasionales, ocho de ellas son rotíferos (*L. clostercerca*, *L. flexilis*, *L. inermis*, *L. ovalis*, *L. salpina*, *M. mucronata*, *C. gibba* y *P. decipines*) y dos cladóceros (*A. gutata* y *C. dadayi*). Dentro de las especies comunes se encuentran los rotíferos *A. sieboldii*, *K. cochlearis*, *E. clavatula*, *E. dilatata*, *L. bulla*, *L. patela*, *T. porcellus*, *T. pocillum*, *T. tetractis* y *T. patina* y los cladóceros *B. longirostris*, *C. sphaericus* y *C. reticulata*. Diecinueve especies de rotíferos fueron accidentales. En cuanto a las especies frecuentes, estas fueron seis, de las cuales tres son rotíferos (*A. priodonta*, *L. luna*, *F. pejeri*) y tres especies cladóceros (*Alona* sp, *D. párvula* y *S. mixtus*, Fig. 6b).

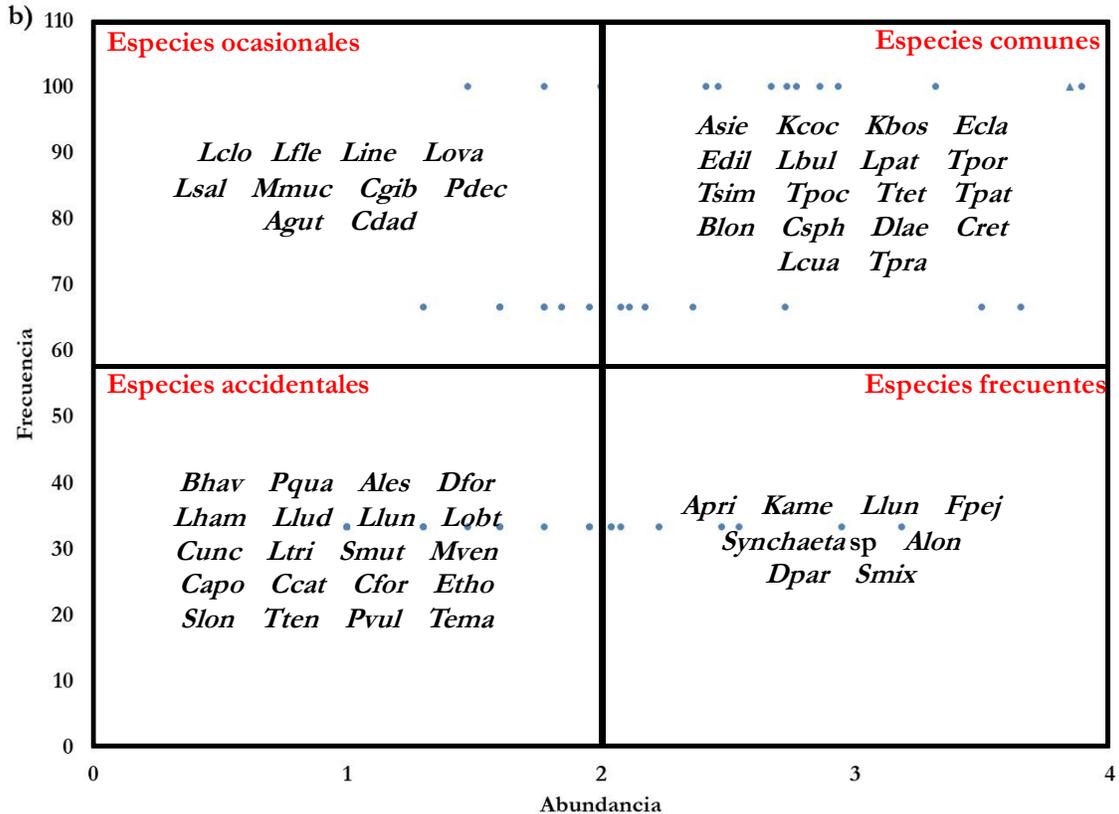
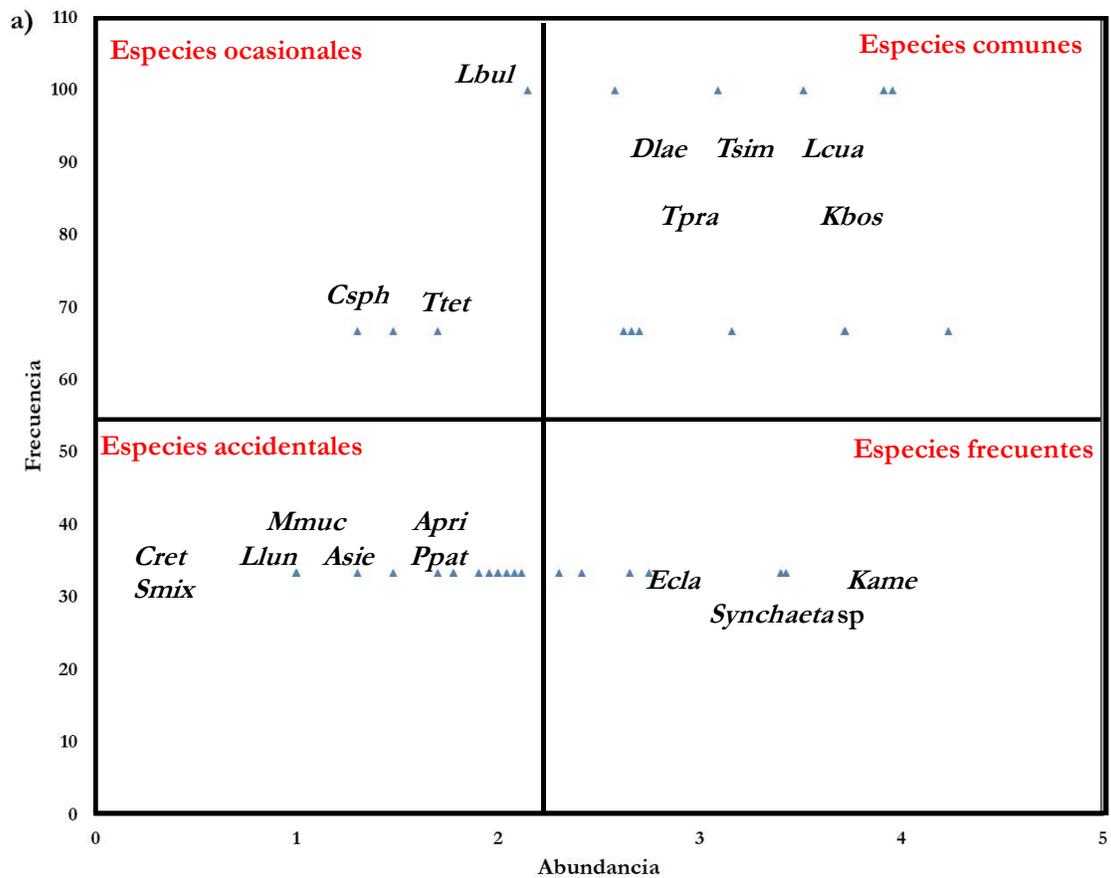


Figura 6. Diagrama de jerarquización de Olmstead-Tukey a) Lago Zempoala; b) Lago Tonatiahua.

5.3.4.5. Evaluación de la relación entre los parámetros fisicoquímicos, índices de calidad del agua y hábitat con las comunidades de los lagos Zempoala y Tonatiahua

El análisis jerárquico por agrupación por correlación de Pearson AJCP-I, elaborado con los datos de los índices ecológicos, las abundancias promedio de las especies por sitio de estudio y el promedio de los parámetros fisicoquímicos (Fig. 7) muestra tres grupos a un nivel de corte de 0.98, el grupo I, comprende solamente a la localidad E-3 de Zempoala (Zem E3), estación que registró valores bajos de coliformes totales y fecales (9 y 19.9 NMP respectivamente), el grupo II está conformado por la E4 de Zempoala (Zem E4) y las estaciones E1 y E2 de Tonatiahua, estas tres localidades presentan los valores más altos de los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) y además comparten entre las tres estaciones 14 especies de zooplankton. El grupo III, está representado por las estaciones E3 y E4 de Tonatiahua y las estaciones E1 y E-2 de Zempoala, estas estaciones presentan los valores más altos de los TSD, coliformes fecales y presentan mayor equitatividad en las especies.

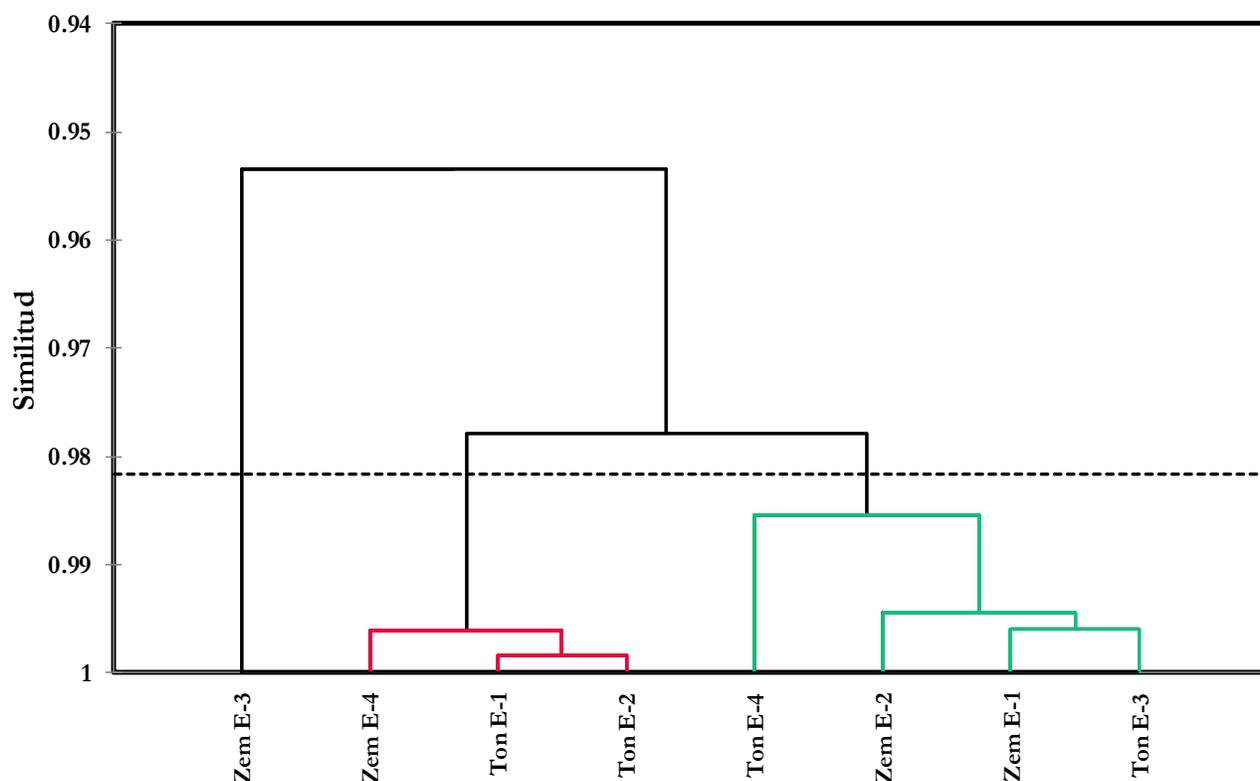


Figura 7. Análisis de agrupamiento para las estaciones de estudio de los lagos Zempoala y Tonatiahua, empleando datos de los índices ecológicos, las abundancias promedio de las especies por sitio de estudio y el promedio de los parámetros fisicoquímicos.

6. DISCUSIÓN

El ambiente recibe continuamente contaminantes orgánicos e inorgánicos (xenobióticos), emitidos por asentamientos urbanos, agrícolas e industriales. El destino final de muchos de estos contaminantes es el agua, ya sea por descarga directa o por los diferentes procesos hidrológicos y atmosféricos (Stegeman y Hahn, 1994). La presencia de un xenobiótico en un ecosistema acuático no es por sí mismo indicador de efectos deletéreos (Van der Oost et al., 2003), además de que pueden no tener un efecto inmediato; sin embargo, la carga total de contaminantes ha contribuido a los cambios observados en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos (Oertel y Salánki, 2003). Los efectos nocivos sobre las poblaciones son frecuentemente difíciles de detectar en los organismos de vida silvestre, ya que los síntomas se pueden manifestar sólo después de largos periodos de exposición. Cuando el efecto finalmente es claro, el proceso destructivo puede estar muy avanzado hasta el punto donde las acciones de remediación o reducción del riesgo ya no se pueden aplicar (van der Oost et al., 2003).

El concepto de salud de los ecosistemas acuáticos implica la medición de las características bióticas y abióticas, por lo que se ha observado una evolución metodológica en la forma de abordar los estudios científicos de la salud de los cuerpos de agua dulce, midiendo los efectos directos e indirectos de los agentes estresantes. La incorporación de diferentes niveles de organización ha permitido tener una visión holística de la afectación en la valoración de la salud de los ecosistemas acuáticos (Sedeño-Díaz y López-López, 2009).

6.1. Índice de Calidad de Agua

La salud de un ecosistema acuático es esencial y depende no sólo de la cantidad del agua sino principalmente de su calidad (Meybeck y Helmer, 1996a; Díaz et al., 2005). Así pues, el ambiente acuático está sujeto a las variaciones en su calidad tanto temporales como espaciales debido a factores internos y externos. Meybeck y Helmer (1996b) sugieren que la calidad del ambiente acuático se puede definir como un conjunto de concentraciones, especiaciones y particiones físicas de las sustancias orgánicas o inorgánicas.

En el índice de calidad del agua de Dinius a cada variable se le asigna un peso, por lo que en algunos casos las variables con mayor peso pueden modificar en mayor medida los valores que indican los niveles de contaminación; tal fue el caso los valores de nitrógeno amoniacal en ambos lagos en todas las estaciones, están arriba de los límites permisibles según los criterios ecológicos para protección de la vida acuática (CECA, 1989), indican que este parámetro no debe sobrepasar el valor de 0.06 mg/L, y se encontró rebasado dicho criterio, lo que revela la entrada de descargas originadas por actividades humanas, así como material alóctono que es transformado a los diferentes estados de oxidación dentro del ciclo del nitrógeno, como se observó en el mes de febrero, principalmente en el lago Zempoala, pero de acuerdo con los valores del ICA ambos lagos son considerados como aguas contaminadas y contaminadas leve, esto posiblemente debido a la descomposición de la materia orgánica que penetra en los lagos después de que en el mes de octubre de 2019 la precipitación pluvial fue muy alta, lo que originó un fuerte deslave arrastrando hacia los lagos lodo, piedras, madera y hojarasca.

Lo anterior, no coincide con lo reportado por Flores (1998), quien reportó al lago Zempoala como un ecosistema de excelente calidad para la vida acuática, pesca y uso recreativo, aceptable para la agricultura y levemente contaminado para uso como agua potable. Mientras que en este trabajo se reporta de contaminada a contaminada leve para uso como agua potable, mientras que para pesca y uso recreativo es de calidad aceptable. Esto podría estar representado por lo que menciona Quiroz-Castelán et al. (2000) al reportar que el lago Zempoala presenta condiciones de deterioro ecológico, originado por factores como: tala inmoderada, extracción de tierra de monte, contaminación causada por inclusión de materiales sólidos, materia orgánica, grasas, detergentes y por la extracción de agua, así como el aumento en los niveles de sedimento, ocasionado por el aporte de material exógeno (suelo, troncos y hojas) y material endógeno (aumento de vegetación acuática). Mientras que para el lago Tonatiahua se considera de contaminada leve para uso de agua potable y calidad aceptable a excelente calidad para pesca y uso recreativo.

6.2. Índice del estado trófico de Carlson

Según Fia et al. (2009), el estado trófico se utiliza para clasificar a los lagos según la concentración de nutrientes, define el grado de eutroficación y de productividad de un ambiente acuático y sus

variaciones en el tiempo. Así como también Gunkel (2003) menciona que es un factor determinante en la calidad del agua, ya que altera la abundancia, diversidad y estructura ecológica de los cuerpos hídricos. En relación con el índice trófico de Carlson (1977), se puede clasificar a los lagos Zempoala y Tonatiahua como oligotróficos basado en la escala propuesta para este índice, que corresponde a valores menores a 30. Estos resultados coinciden con el estudio de López y Salas (2013) quienes clasificaron a un lago tropical de alta montaña como sistema oligotrófico según la clorofila “a” y la transparencia de agua. Debido a que este es el primer estudio en el cual se emplea el índice de Carlson en estos lagos, no se puede comparar. Sin embargo, con base en la composición del fitoplancton y a las altas concentraciones de clorofila a en el lago Zempoala, García-Rodríguez y Tavera (1998) consideran a este ecosistema como un lago eutrófico, lo cual coincide con los valores obtenidos de clorofila a en el presente estudio, también mencionan que su eutrofización está ocurriendo como un proceso natural moderado por la sedimentación y recirculación anuales de los nutrientes.

La cuantificación de la clorofila “a”, a pesar de sus limitaciones, es un método económico y rápido, siendo extremadamente útil en la determinación del estado trófico de los ecosistemas acuáticos. Además, de que es un parámetro que puede servir en estudios del estado fisiológico del fitoplancton. Así mismo, la transparencia del agua también tiene un impacto en los procesos del lago y el comportamiento de los organismos de agua dulce (Slugocki y Czerniawski, 2018). La transparencia se considera un proxy del estado trófico en la gestión del agua y especialmente para las evaluaciones ecológicas (Carlson, 1977; Heddam, 2016; Alikas y Kratzer, 2017).

6.3. Comunidad zooplanctónica

Naturalmente se ha utilizado a los bioindicadores como herramienta para evaluar la salud ecológica de un ambiente ya que son capaces de detectar cambios, ya sean negativos o positivos. Hay algunos factores que favorecen la presencia de estos, como luz, temperatura del agua y sólidos suspendidos, de esta forma pueden ser aplicados para conocer el estado natural o el grado de contaminación de un ecosistema (Khatri y Tyagi 2014). Odum (1972) define a los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones del medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones. El

potencial del zooplancton como indicador está en que su desarrollo y crecimiento están sujetos a estos factores (Ramchandra et al., 2006).

Los protozoos, rotíferos y microcrustáceos son los principales componentes de las comunidades zooplanctónicas del agua dulce (Margalef, 1983; Granados, 1990; Santeiro et al., 2006; Zambrano, 2007). En el presente estudio, se registraron rotíferos y microcrustáceos (cladóceros y copépodos), lo cual coincide con otros estudios realizados en los lagos Zempoala y Tonatiahua (Flores, 1998; Trejo, 2012; Muñoz, 2014; Barragán, 2016; Olvera, 2019).

En el presente estudio, no se observó una variación temporal alta en cuanto a la riqueza de especies del zooplancton en al menos los meses de marzo y noviembre, ya que se capturó en el primer mes un total de 45 especies en total (27 en Zempoala y 33 en Tonatiahua) y en el segundo 42 (18 en Zempoala y 37 en Tonatiahua), sin embargo, si se registró un descenso en el número de las especies colectadas en el mes de febrero, en el cual, únicamente se registraron 31 especies (22 especies en Zempoala y 27 en Tonatiahua). Carvalho (1983) y Kirk (1991), sugieren que, durante los periodos con mayor concentración de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua lénticos con gran aporte de material terrígeno, existe la posibilidad de interferencia en los procesos de filtración del zooplancton.

En los lagos estudiados en la presente investigación, posiblemente el abatimiento del zooplancton en el mes de febrero coincidió con los mayores niveles de sólidos suspendidos, esto debido a que, en el mes de octubre, hubo un evento de alta precipitación pluvial, lo que ocasionó un deslave de tierra e inundación en los ecosistemas, lo que elevó los niveles de sólidos suspendidos, evento que puede contribuir a la obstrucción de los mecanismos de filtración del zooplancton, lo anterior, ha sido documentado en otros ecosistemas lénticos (Duncan, 1984; López-López y Serna-Hernández, 1999). Otros eventos que influyen en el abatimiento de la densidad zooplanctónica son las relaciones bióticas como la depredación y la competencia interespecífica, fenómenos que no han sido abordados en los lagos de Zempoala y Tonatiahua y que llegan a influir de distinta forma en la composición y abundancia de la comunidad planctónica.

Con base en los resultados obtenidos por estaciones de muestreo en cada uno de los lagos, se observó que en Zempoala hubo mayor fluctuación en cuanto a la riqueza de especies, presentándose la riqueza mínima en la estación E2 y las máximas en las estaciones E1 y E3, mientras que en Tonatiahua la riqueza mínima se observó en la estación E3 y la máxima en la estación E1, observándose con lo anterior una variación estacional en cada uno de los lagos, este mismo patrón, fue reportado por Trejo (2012) en Zempoala, debido a que no hay trabajos realizados en Tonatiahua, no se puede llevar a cabo una comparación.

La biomasa del zooplancton está constituida en su mayoría por microcrustáceos, sin embargo, los rotíferos frecuentemente representan mayor riqueza de especies y diversidad (Williamson y Reid, 2001). Los rotíferos no pueden competir en biomasa con los grandes crustáceos, pero su rápida reproducción y veloz tasa de desarrollo, demuestra que pueden aportar entre el 10 y 40% del total de la producción e incluso hasta el 67% en ciertos ecosistemas (Edmonson, 1946; Herzig, 1987). Esta alta riqueza de especies se debe a que los rotíferos pueden habitar una variedad de entornos y son en su mayoría formas típicamente litorales (Pejler, 1995), debido a que colonizan fácilmente el ecosistema, por tener un ciclo de vida corto, reproducción partenogenética, así como amplia distribución (Elías-Gutiérrez et al., 2001). Algunas especies toleran cambios de temperatura anuales y permanecen durante todo el año, sin embargo, hay especies que presentan una tolerancia más limitada (Hutchinson, 1967). Juegan un papel importante como filtradores, alimentadores en suspensión y depredadores de la comunidad planctónica, formando una importante unión en la cadena alimenticia entre el nanofitoplancton y los carnívoros del zooplancton (Ruttner-Kolisko, 1974; Herzig, 1987; Sanders et al., 1994). También se sabe que los rotíferos son un eslabón integral de las redes alimentarias acuáticas, son bioindicadores y, por lo tanto, útiles como indicadores de calidad del agua y en estudios ecotoxicológicos y para representar el estado trófico de las masas de agua (Sládeček, 1983; Elías-Gutiérrez y Sarma, 1998).

Con base en lo reportado en la literatura, en el lago de Zempoala hasta el momento se ha registrado un total de 116 especies de rotíferos. En el presente estudio se reportan un total de 41 especies, registrándose la mayor diversidad en este grupo, característica que ha sido reportada por diferentes autores en estos ecosistemas, principalmente en Zempoala, entre ellos está el trabajo de Flores (1998) en el que reporta 35 especies de rotíferos, Muñoz (2014) un total de 64 especies,

Barragán (2016) menciona 62 especies, sin embargo, hay otros estudios que reportan que el número de especies de rotíferos menor como el de Trejo (2012) quien solo registra 21 especies y Olvera (2019) 13 especies. Las especies *Kellicottia bostoniensis* y *Lecane luna*, han sido reportadas en todos los estudios realizados en Zempoala. Las especies, *Epiphanes clavatula*, *Lophocaris salpina* y *Filinia peijleri* son nuevos registros para el lago Zempoala, en el presente estudio.

En el caso del lago Tonatiahua, sólo está el estudio realizado por Barragán (2016) y la presente investigación, con un registró total de 77 especies de rotíferos, 44 de las cuales son reportadas por Barragán (2016) y en el presente estudio 47 especies. Se registró que la estructura de la comunidad zooplanctónica de este lago, mostró un cambio, puesto que, del total de especies registradas en ambos estudios solo se compartieron 19 especies, observándose que en el estudio de Barragán (2016), 25 sólo fueron registradas en ese estudio. En el presente estudio un total de 27 especies son nuevos registros para este ecosistema (*Brachionus havaenensis*, *Keratella americana*, *Epiphanes clavatula*, *Mytilina ventralis*, *Trichotria pocillum*, *Lepadella patella*, *Lepadella lunaris*, *Lepadella triptera*, *Lecane flexilis*, *Lecane closterocerca*, *Lecane inermis*, *Lecane hamata*, *Lecane obtusa*, *Proales decipiens*, *Cephalodella catellina*, *Cephalodella apocolea*, *Eothinia thoides*, *Aspelta lestes*, *Diclanophorus forcipatus*, *Scaridium longicaudum*, *Squatinella mutica*, *Trichocerca tenuir*, *Testudinella emarginula*, *Filinia peijleri*, *Eothinia thoides*, *Polyarthra vulgaris* y *Dicranophorus forcipatus*).

La alta abundancia de rotíferos en los lagos Zempoala y Tonatiahua, puede deberse a que no están limitados en su crecimiento y reproducción por nutrientes, ya que en estos lagos se han registrado valores altos de fósforo, favoreciendo el crecimiento de fitoplancton (García-Ramírez y Tavera, 1998; García-Rodríguez et al., 2003) que es el principal alimento de los rotíferos. Además de que aprovechan las partículas que no son utilizadas por organismos como copépodos y algunos cladóceros, lo que es una ventaja en caso de que el fitoplancton se encuentre en bajas abundancias (Merayo y González, 2010).

Dentro del grupo de los rotíferos *Lecane* es un género extendido y abundante de organismos de tamaño pequeño a mediano, que habitan en aguas dulces y saladas (Segers, 1995, 1996). Todas las especies son habitantes del sustrato que se encuentra principalmente en hábitats litorales, pero también se encuentran en vegetación flotante y sumergida (Koste y Shiel, 1990; Kuczynska-

Kippen, 2007). Muchas especies se consideran cosmopolitas, pero un número considerable tiene distribuciones restringidas (Segers, 1996). El género *Lecane* es probablemente uno de los géneros de rotíferos más diversos de los trópicos (Sanoamuang, 1996; Segers y Savatnalinton 2010), que incluye alrededor de 200 especies válidas en todo el mundo (Segers, 2007; Segers y Savatnalinton, 2010). En México se han reportado 57 especies, lo que representa el 28.5% de las especies del mundo (Cervantes et al., 2012). En el presente estudio, del grupo de rotíferos, el género *Lecane* fue el que presentó mayor número de especies con un total de nueve, lo cual también se ha registrado en diferentes lagos del mundo (Segers y Pholpunthin, 1997; Pholpunthin y Chittapun, 1998; Zanatta et al., 2007; Andrade-Sossa et al., 2011; Torres, 2013; Gutiérrez et al., 2017; Yin et al., 2018; Arroyo-Castro et al., 2019). Sin embargo, no coincide con lo obtenido en Zempoala por Trejo (2012) y Olvera (2019) quienes solo reportan una especie (*Lecane luna*); Muñoz (2014) reporta un total de ocho especies y en el presente estudio se identificaron nueve, lo cual coincide con lo reportado por Flores (1998) y Barragán (2016). De acuerdo con algunos autores (Ruttner-Kolisko, 1974; Koste, 1978; Segers et al., 1993; De Paggi, 1993; Yin et al., 2018), este género con frecuencia aumenta su diversidad en lagos con presencia de macrófitos, debido a la mayor disponibilidad de nichos y una menor competencia interespecífica. En el caso de los lagos estudiados en el presente estudio, la presencia de macrófitos ocurrió durante todo el periodo de muestreo, lo cual favoreció a este género.

La familia Brachionidae fue la que presentó mayor número de géneros. La diversificación de esta familia es un rasgo característico de aguas tropicales (Pejler, 1977), así mismo, Osorio (1942) mencionó que esta familia presenta importancia en el plancton y es frecuente y abundante en los ecosistemas dulceacuícolas y salobres de México, lo cual es corroborado con los estudios realizados por Rico-Martínez y Silva-Briano (1993); Sarma et al. (1996) y Sarma y Elías-Gutiérrez (1997). En el presente estudio se localizó en las estaciones de la zona litoral, con valores altos de materia orgánica, lo cual coincide con lo reportado por Goldman y Horne (1994). Dentro de esta familia, se encuentra el género *Brachionus*, que de acuerdo a Sládeček (1983), tiene mayor presencia en lagos tropicales y es uno de los mayores bioindicadores de eutrofia y oligotrofia en los cuerpos de agua. En la presente investigación, se pudo registrar una alta riqueza de esta familia en Tonatiahua, el cual presentó una relación positiva con parámetros como temperatura, oxígeno disuelto, total de

solidos disueltos y demanda bioquímica de oxígeno y de acuerdo con el índice del estado trófico de Carlson, este lago es considerado como oligotrófico.

El género *Keratella* (Familia Brachionidae), se encuentra ampliamente distribuido y se considera cosmopolita (Hutchinson, 1967), capaz de vivir en cualquier cuerpo de agua, de cualquier tamaño, condición térmica y con amplias diferencias de salinidad (Ruttner-Kolisko, 1974; Koste, 1978). En el presente estudio, la especie *K. americana* se mantuvo con altas densidades en los lagos Zempoala y Tonatiahua, es una especie que se considera común para lagos tropicales (Lewis, 1996), lo que explica la constancia de esta especie en ambos lagos y durante el tiempo de muestreo.

Kellicottia bostoniensis también registró altas abundancia en los lagos Zempoala y Tonatiahua, principalmente en el mes de febrero, que es cuando se reportó una mala calidad de agua. Según Mikschi (1989) es una especie que tolera amplios rangos de temperatura y concentración de oxígeno. Mientras que Hutchinson (1967) la refiere como especie asociada a los periodos de mezcla que presentan los lagos y la considera como una especie planctónica importante de aguas templadas, mientras que Seger (2007) la registra con mayor presencia en lagos tropicales. Por otro lado, Suárez-Morales y Gutiérrez-Aguirre (2001) consideran a esta especie como invasora de los lagos naturales en Brasil. Flores (1998) la considera como una especie constante y forma parte de una actividad productiva y diversa. Trejo (2012) también la reporta en todo su estudio con distribución en la columna del agua. Zhdanovaa et al. (2016) mencionan que estos organismos tienen alta plasticidad ecológica, lo que les permite colonizar cuerpos de agua que difieren en salinidad del agua, color, pH y estado trófico, tal como ocurre en los ecosistemas de Brasil. Landa et al. (2002) reportan que en dos ecosistemas del Estado de Minas Gerais, Brasil, *K. bostoniensis* fue la segunda especie más frecuente de rotífero, siendo considerada con base en el índice de constancia de Dajoz como un taxón constante, ya que ocurre en más del 50% de las muestras, lo que refleja su alta adaptabilidad a las condiciones tropicales, así mismo, mencionan que se registró un aumento progresivo en la densidad de este rotífero a medida que el ambiente se volvió más eutrófico, así mismo, Bezerra-Neto (2001), confirman que esta especie es típica de ambientes eutróficos o simplemente influenciada por efluentes ricos en materia orgánica.

El género *Trichocerca*, presenta un amplio espectro ecológico ya que la mayoría de las especies no son planctónicas y generalmente habitan en la zona de macrófitas y raramente habitan aguas abiertas y su valor como indicador está dividido por la consideración de algunos autores, ya que unos la catalogan como eutrófico (Gannon y Stenberg, 1978) y otros como oligotrófico (Sládeček, 1983). Una especie perteneciente a este género fue *T. similis* que se mantuvo constante durante los meses de muestreo y en ambos lagos, sin embargo, alcanzó mayor abundancia en Zempoala durante febrero. Trejo (2012) la reporta como una especie con constante abundancia presente durante el tiempo de estudio, en el que también registra un incremento poblacional en febrero. Hutchinson (1967) la describe como una especie grande y característica de ambientes eutróficos. Mientras que Baaio y Boavida (2005) la encuentran representada con frecuencia en casi todos los cuerpos de agua, con bajas densidades y ausentes en cuerpos de agua poco productivos.

De acuerdo con los resultados del índice de estado trófico de Carlson, los lagos Zempoala y Tonatiahua presentan una condición de oligotrófico, sin embargo, la presencia de especies de rotíferos de los géneros *Lepadella*, *Keratella* y la especie *Trichotria tetractis*, son una evidencia de que ambos ecosistemas se encuentran en un proceso de eutrofización, esto de acuerdo con lo reportado por Serranía (1996), que menciona que las especies del género *Lepadella*, son consideradas como especies de transición ya que se pueden encontrar en ambientes tanto oligotróficos como eutróficos al presentar un amplio rango de variabilidad a diferentes condiciones ambientales. Así mismo, García-Cabrera (2006), menciona que las especies del género *Keratella* son consideradas como especies indicadoras de mala calidad de agua, en tanto que Siddiqui y Chandrasekhar (1996), reportaron que el rotífero *Trichotria tetractis* es una especie indicadora de contaminación, al ser encontrada en lagos con alta concentración de fósforo.

En el actual trabajo, el género *Asplanchna* estuvo representado por tres especies *A. multiceps*, *A. sieboldii* y *A. priodonta*, en noviembre esta última especie, presenta la mayor abundancias, lo que coincide con Flores (1998), en donde la registra los meses de otoño, así mismo, menciona que esta especie tolera altas variaciones de temperatura y requiere de altas concentraciones de oxígeno, lo cual concuerda con lo reportado por Sládeček (1983) y Seger (2007), quienes consideran a esta especie como cosmopolita, asociadas a cuerpos de agua oligotróficos.

Se observa una mayor abundancia y riqueza de especies zooplanctónicas en los lagos Zempoala y Tonatiahua en las estaciones litorales (1,2 y 3), en su mayoría dominado por el grupo de los rotíferos. Esto puede ser explicado debido a que la mayoría de las especies registradas son litorales y es evidente que su presencia se relaciona con un incremento en el tamaño de partícula del alimento (Stemberg, 1979; Nogrady et al., 1993). En esta zona se describe la presencia de detrito considerada como una fuente importante de alimento y cuya abundancia es sostenida principalmente por las macrófitas (Burks et al., 2002), observando que estas condiciones son adecuadas para el desarrollo de poblaciones detritívoras (De Paggi, 1993).

Los cladóceros presentan una amplia distribución en ambientes tropicales, sin embargo, a veces ésta se ve restringida a pequeñas áreas debido a los requerimientos ecológicos y fisiológicos que presentan algunas especies (Sendacz, 1993). Realizan movimientos migratorios verticales y horizontales, comportamiento que utilizan para moverse entre la zona fótica con el atardecer y hacia la zona afótica con el alba (Pennak, 1979). Algunos autores los consideran como indicadores de ambientes oligotróficos (Conde-Porcuna et al., 2004) y mesotróficos (Miño y Rodríguez, 2018).

Suárez-Morales et al. (2000) reportan que los cladóceros son un grupo considerado de los más diversos en México, con alrededor de 140 especies, lo que representa el 23.3% de las especies de todo el mundo (Elías-Gutiérrez et al. 1999; 2001; Elías-Gutiérrez y Suárez-Morales, 2003; Elías-Gutiérrez y Váldez-Gutiérrez, 2008), sin embargo, en los lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, sólo se ha registrado un total de 19 especies (Flores, 1998; Trejo, 2012; Muñoz, 2014; Barragán, 2016; Olvera, 2019 y el presente estudio), lo que representa el 3.16% de las especies presentes en México. Los cladóceros, en los lagos Zempoala y Tonatiahua, presentan baja riqueza de especies, en el caso del lago Zempoala, Granados-Ramírez y Álvarez (2003) reportan cinco especies, Trejo (2012) tres especies, Palomino (2014) tres especies, Barragán (2016) tres especies y Olvera (2019) cinco especies; en tanto que en el presente estudio se reconocieron 11 especies. En Tonatiahua, Barragán (2016), para este ecosistema, menciona cinco especies de cladóceros, mientras que en el presente estudio se registró un total de nueve especies, de las cuales *Alona guttata*, *Camptocercus sphaericus*, *Daphnia pàrvula*, *Cerodaphnia reticulata* y *Simicephalux mixtus* son nuevos registros para este ecosistema.

Elías-Gutiérrez et al. (1999) citan que los grandes reservorios mexicanos son dominados por varias especies de cladóceros de los géneros *Bosmina* (género característico de condiciones litorales) y *Daphnia* (género característico de aguas templadas y frías); aunque en el presente estudio solamente se registró una especie del primer género (*B. longirostris*) y dos del segundo (*D. laevis* y *D. pàrvula*). *Bosmina longirostris*, se presentó constante en noviembre y febrero, en este último registró sus abundancias más altas en E3, es una especie que presenta distribución vertical ya que nadan de modo continuo con movimientos rápidos de las antenas y cuando son amenazadas, se detienen y se dejan sedimentar (Margalef, 1983). También se registra como una especie pequeña, <500 se encuentran en ambientes ricos en nutrientes. Sin embargo, en el lago Tonatiahua no se registró abundante durante los meses de muestreo, esto podría estar relacionado con lo que García-Cabrera (2006) menciona al considerarla como una especie de ambientes eutróficos.

Daphnia laevis se mantuvo dominante en los lagos Zempoala y Tonatiahua, principalmente en las estaciones localizadas en el área limnética. Trejo-Albarrán et al. (2014) mencionan que esta especie muestra altas abundancias en zonas con excelentes condiciones de oxigenación, mientras que disminuye cuando se encuentra en condiciones de altas concentraciones de bióxido de carbono, así mismo, reporta que está ligada a la disponibilidad de alimento como el fitoplancton, el pH, la profundidad y la temperatura del agua, siendo este último el factor más importante para su desarrollo. Elías-Gutiérrez (1995) dice que esta es dominante en ambientes eutrofizados y en lagos sometidos al impacto humano y que presenta altas abundancias en febrero y mayo, caso que no coincide con este trabajo al registrar sus abundancias más altas en el mes de noviembre con temperaturas de 14 °C a 16°C, Visman et al. (1994) reportan que la presencia de algas filamentosas puede obstruir su aparato filtrador, registrándose que es una especie sensible a cambios bruscos del ambiente, tal como lo reportan Forró et al. (2008).

En el presente estudio la especie *Ceriodaphnia reticulata*, fue la que presentó la máxima abundancia, esto podría estar atribuido al aumento en la concentración de la materia orgánica después de la temporada de lluvias y por lo tanto a la disponibilidad de alimento que haya en el ecosistema, ya que mencionan algunos autores (Hrbáčková, 1974; Gliwicz, 1977; Benndorf y Horn, 1985; Ghilarov, 1985; Infante y Edmondson, 1985), que las actividades de algunas especies de zooplancton como la filtración, fecundidad, alimentación y abundancia, puede estar limitado por la

baja concentración de alimento disponible, mientras que otras están restringidas por altas concentraciones de algas grandes y filamentosas. De esta forma podemos justificar las altas abundancias de *C. reticulata* al ser reportada en un ambiente con valores bajos de oxígeno disuelto y valores altos de coliformes fecales, de acuerdo a lo que menciona Amoros (1984) al describir que las especies del género *Ceriodaphnia* son tolerantes a un estado trófico alto.

Chydorus sphaericus (nuevo registro para el lago Tonatiahua), se mostró constante durante los tres meses de muestreo en ambos lagos, registrando sus abundancias más altas en noviembre. De acuerdo con los resultados del índice del estado trófico, ambos lagos son considerados oligotróficos, por lo que la presencia de esta especie, podría señalar que ambos lagos están en un proceso de eutrofización, ya que tiende a ser considerada su presencia en ambientes mesotróficos y de baja conductividad (De los ríos Escalante et al., 2011).

Al grupo de los copépodos se le encuentra habitando aguas marinas, dulces e incluso condiciones semi-terrestres, entre películas de agua del suelo, musgos o bromelias (Dole-Olivier et al., 2000). Actualmente se reconocen 11 órdenes (Boxshall y Halsey, 2004) y de ellas se han descrito unas 11,500 especies en el mundo, de las cuales 2000 especies se encuentran en aguas dulceacuícolas. En cuanto a las formas de agua dulce, en México se tiene un inventario de alrededor de 100 especies de los órdenes Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida (Suárez-Morales y Elías-Gutiérrez, 2003). Los copépodos muestran variación estacional, sin embargo, no muestran preferencia en la época del año en ambientes templados y su abundancia varía en el tiempo dependiendo de la disponibilidad de alimento (Hutchinson, 1967, Armengol, 1978), están ligados a ambientes eutróficos (Miño y Rodríguez, 2018; Conde-Porcuna et al., 2004).

En los lagos Zempoala y Tonatiahua, en el presente estudio se registró baja riqueza de especies (dos especies, 2%), lo cual coincide con otros trabajos, en el caso del lago Zempoala, Granados-Ramírez y Álvarez (2003) y Palomino (2014) reportan tres especies, Trejo (2012) y Olvera (2019) reportan dos especies. En Tonatiahua Barragán (2016), menciona cuatro especies, mientras que en el presente estudio se registró un total de dos especies (*Leptodiptomus cuabutemoci* y *Tropocyclops prasinus*).

Leptodiaptomus cuabutemoci fue frecuente y constante en ambos lagos, lo que coincide con lo reportado por Palomino (2014) quien registra a esta especie como el copépodo más abundante y con mayor presencia; menciona que esta especie no se encuentra directamente influenciada por ninguna variable ambiental, por lo que podría categorizarse como una especie exitosa con amplia distribución en los lagos Zempoala y Tonatiahua. Trejo et al. (2018) mencionan que es una especie importante en la comunidad zooplanctónica aunado a que es endémica de Morelos, al ser el único copépodo calanoide que predomina en estos cuerpos de agua. Lewis, (1996) menciona que, en zonas tropicales el zooplancton presenta mayores endemismos, especialmente en copépodos calanoides, describiendo a *L. cuabutemoci* como una especie que prefiere los meses de otoño e invierno para aumentar su biomasa cuando el ecosistema se encuentra estable y aumentan los nutrientes, producto de los arrastres de materia orgánica generado por el periodo de lluvias. En el presente estudio esta especie presentó densidades altas durante febrero en Zempoala, mientras que en Tonatiahua, fue en noviembre donde registró máxima abundancia. Esto puede ser explicado con base a lo que mencionan Trejo et al. (2018) al reportar alta abundancia y distribución espacial en la época de lluvias, momento en que se observa mayor cantidad de materia orgánica.

Conde-Porcuna et al. (2002) mencionan que el grupo de rotíferos y cladóceros comparten características como la de ser mayormente organismos filtradores, se alimentan de los mismos recursos. Su reproducción es partenogenética, por lo que no presentan formas larvianas durante su desarrollo, permitiéndoles colonizar rápidamente nuevos nichos gracias a la rápida generación de nuevos individuos, sin embargo, la reproducción sexual promueve la permanencia de la especie, pero sus nichos podrían ser traslapados, por lo que hay competencia por recursos en la cual los rotíferos son desplazados por los cladóceros, como lo ocurrido en este estudio durante noviembre al registrar una mayor abundancia de cladóceros sobre rotíferos y copépodos, mientras que Brito et al. (2011) menciona que la dominancia de rotíferos sobre copépodos es característica de ambientes eutróficos.

Los lagos Zempoala y Tonatiahua en el presente estudio, con el índice del estado trófico de Carlons, son considerados como oligotróficos, sin embargo, la presencia de las especies zooplanctónicas de los géneros *Brachionus*, *Kellicottia*, *Trichocerca*, *Bosmina*, *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Compotercus* que son consideradas como indicadoras de ecosistemas mesotróficos y eutróficos,

indican que estos lagos están en un proceso de eutrofización, García-Rodríguez y Tavera (1998), con base en la composición del fitoplancton y a las altas concentraciones de clorofila a en el lago Zempoala, consideran a este ecosistema como un lago eutrófico, también mencionan que su eutrofización está ocurriendo como un proceso natural moderado por la sedimentación y recirculación anuales de los nutrientes. Desafortunadamente, debido al mal manejo de los ecosistemas, a la tala inmoderada que se ha realizado en el territorio del Parque, la eutrofización que se está observando, ya no es un proceso natural, sino, antropogénico, que está acelerando la eutrofización de los ecosistemas, por esto es necesario implementar estrategias de manejo, restauración y conservación de los mismos.

Matsumura-Tundisi y Tundisi (1997) mencionan que la dinámica poblacional de los grupos de zooplancton son un eslabón relevante en el manejo de los ambientes acuáticos, ya que la composición, abundancia y distribución espacial de las comunidades zooplanctónicas están relacionadas con el estado trófico y el grado de interacciones biológicas que ocurren en estos ecosistemas, además de que la prevalencia de ciertas especies puede ser indicadora del estado trófico del ecosistema. Así como también lo menciona Gulati (1983) al considerar que factores bióticos y abióticos causan cambios importantes en la composición de la comunidad del zooplancton, por lo que, al cambiar el estado trófico del cuerpo de agua, algunas especies que son sensibles pueden desaparecer, las resistentes permanecer o aparecer nuevas especies.

Blancher (1984), considera que la composición y estructura de la comunidad del zooplancton tienen un valor potencial como indicadores de condiciones tróficas. El zooplancton depende fuertemente de factores bióticos como la competencia y depredación (Kehayias et al., 2008), así como cambios en el pH y la disponibilidad de alimento (Allen et al., 1999).

7. CONCLUSIONES

La variación de la calidad del agua que presentan los lagos Zempoala y Tonatiahua, se debe a que está sometido a cambios ambientales tanto físicos como químicos y biológicos, considerados como ambientes acuáticos que varían de baja a mediana calidad.

Con base en los resultados del índice del estado trófico de Carlson, son considerados como ecosistemas oligotróficos.

Se registró un total de 64 especies entre ambos lagos, clasificadas en dos Filos, tres clases, cuatro órdenes, 22 familias y 36 géneros. Del total de las especies, 50 pertenecen al grupo de rotíferos (77%), doce son del grupo de cladóceros (19%) y dos copépodos (3%).

Se colectó un total de 19,711 org/mL, de estos la mayor abundancia correspondió a los rotíferos con 13,536 org/mL (68.7%), seguido de los cladóceros con 4,318 org/mL (21.9%) y los menos abundantes fueron los copépodos (1,857 org/mL, 9.4%).

El lago Tonatiahua presentó el mayor número de especies (47 especies de rotíferos, nueve cladóceros y dos copépodos, mientras que en Zempoala se registraron 28 especies de rotíferos, 11 cladóceros y dos copépodos.

De las 64 especies reportadas, 32 estuvieron presentes en ambos lagos (24 rotíferos, seis cladóceros y las dos especies de copépodos), siete especies fueron exclusivas del lago Zempoala, siete rotíferos (*A. multiceps*, *A. priodonta*, *L. luna*, *T. enlongata* y *F. longiseta*) y tres cladóceros (*Chydorus* sp., *P. denticulatus* y *S. serrulatus*), en tanto que 22 especies fueron exclusivas del lago Tonatiahua, 21 rotíferos y un cladócero.

La mayor abundancia se registró en el lago Zempoala (16,294 org/mL, mientras que la menor abundancia se observó en el lago Tonatiahua (3417 org/mL).

Con base en el índice de Shannon-Wiener, exhibieron el lago Zempoala presenta una calidad de agua medianamente contaminada, mientras que el lago Tonatiahua aguas no contaminadas.

La presencia de especies indicadoras de ecosistemas mesotróficos y eutróficos como *Brachionus havanaensis*, *Kellicottia bostonensis*, *Trichocerca elongata*, *Trichocerca porcellus*, *Trichocerca similis*, *Trichocerca tenuir*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia laevis*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Comptocercus sphaericus* y *Comptocercus dadayi*, indican que estos lagos se encuentran en un proceso de eutrofización.

8. PERSPECTIVAS

Para hacer un seguimiento constante del estado trófico de los lagos, y teniendo en cuenta su importancia como Parque Nacional, es necesario implementar un plan de monitoreo constante que incluya parámetros físicos, químicos y biológicos para poder observar las tendencias en el tiempo. Así mismo, es necesario se haga toda una recopilación de la información generada para estos cuerpos de agua, para generar información que permita una mejor prevención, manejo, administración y conservación de estos ecosistemas.

Con la información que se cuenta sobre los rotíferos de México, es necesario adecuar un índice sapróbico para evaluar los ecosistemas mexicanos.

9. LITERATURA CITADA

- Agasild, H., P. Zingel, I. Tonno, J. Haberman J. y T. Noges. 2007. Contribution of different zooplankton groups in grazing on phytoplankton in shallow eutrophic Lake Vortsjärv (Estonia). *Hydrobiologia* 584:167-177.
- Alikas, K. y S. Kratzer. 2017. Improved retrieval of Secchi depth for optically-complex waters using remote sensing data. *Ecological Indicators* 77:218-227.
- Almeida, R., N. E. Formigo, I. Sousa-Pinto y S. C. Antunes. 2020. Contribution of zooplankton as a biological element in the assessment of reservoir water quality. *Limnetica* 39(1): 245-261.
- Allen, A. P., T. R. Whittier, P. R. Kaufmann, R. J. O'Connor, R. M. Hughes, R. S. Stemberger, S. S. Dixit, R. O. Brinkhurst, A. T. Herlihy y S. G. Paulsen. 1999. Concordance of taxonomic composition patterns across multiple lake assemblages: effects of scale, body size, and land use. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56:2029-2040.
- Amé, M. V., M. P. Díaz y D. A. Wunderlin. 2003. Occurrence of Toxic Cyanobacterial Blooms in San Roque Reservoir (Córdoba, Argentina): A Field and Chemometric Study. *Environmental Toxicology* 18:192-201.
- Amoros, C. 1984. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises - 5. Crustacés Cladocères. *Publications de la Société Linnéenne de Lyon* 53(3):72-107.
- Andrade-Sossa, C. E., M. García-Folleco, C. A. Rodríguez-Munar, S. R. Duque y E. Realpe. 2011. Efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura del ensamblaje de rotíferos en el lago Largo (Sistema Yahuaraca-llanura de inundación del río Amazonas-Colombia). *Caldasia* 33(2):499-517.
- APHA (American Public Health Association). 2012. Standard methods: for the examination of water and wastewater. APHA, AWWA, WPCF, Washington, DC.
- Armengol, J. 1978. Ecología del zooplankton de los embalses. *Mundo Científico* 2(11):168-178.
- Arredondo, F. J. L. y D. Aguilar 1987. Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas, realizadas en los lagos mexicanos con especial énfasis en su ictiofauna. En: Gómez. A. S. y F. B. Arenas (eds). *Contribuciones en hidrobiología*. UNAM, México. Pp. 91-133.
- Arroyo-Castro, J., J. Alvarado-Flores, J. Uh-Moo y C. Koh-Pasos. 2019. Monogonot rotifers species of the island Cozumel, Quintana Roo, México. *Biodiversity Data Journal* 7:e34719.

- Astiz, S. y H. Álvarez. 2014. Dinámica del zooplancton y su relación con la calidad de agua en el río Cataniapo, Amazonas, Venezuela. *Ecotrópicos* 27(1-2):13-30.
- Baiao, C. y M. J. Boavida 2005. Rotifers of portugés reservoir in river Tejo catchment. Relation with thropic state. Asociación Española de limnología Madrid. Spain. *Limnética* 24(1-2):103-114.
- Barragán, Z. P. 2016. Macroinvertebrados y microinvertebrados de la zona litoral de los lagos Zempoala y Tonatiahua, del Parque de Lagunas de Zempoala. Tesis, licenciatura, Facultad de Ciencias Biologicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. 56 p.
- Bartram, J. y R. Balance. 1996. Water quality monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs. World Health Organization y United Nations Environment Programme. 383 p.
- Beaver, J. R. y K. E. Havens. 1996. Seasonal and spatial variation in zooplankton community structure and their relation to possible controlling variables in Lake Okeechobee. *Freshwater Biology* 36:45-56.
- Benndorf, H. y W. Horn 1985. Theoretical considerations of the relative importance of food limitation and predation in structuring zooplankton communities. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte. Ergebnisse der Limnologie* 21:383-396.
- Bezerra-Neto, J. F. 2001. A influência da larva de Chaoborus (Insecta: Diptera) na distribuição espacial da comunidade zooplanctônica na Lagoa do Nado, Belo Horizonte - MG. 2001. Tesis, Maestría, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 87 p.
- Blancher, E. C. 1984. Zooplankton-trophic state relationships in some north and central Florida lakes. *Hydrobiologia* 109:251-263.
- Bonilla, B. J. R. 1992. Flora y vegetación acuática vascular de Las Lagunas de Zempoala, Morelos, México. Tesis, Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 122 p.
- Bonilla-Barbosa, J. y A. Novelo 1995. Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Cuadernos No. 26. México, D.F. 168 p.

- Boxshall, G. A. y S. H. Halsey. 2004. An introduction to copepod diversity. The Ray Society, London. 966 p.
- Boyd, C. E. 1981. Water quality in warm water fishponds. Auburn University. Cram master printers, Inc. 2nd edition. 359 p.
- Brito, L. S., M. P. Barbosa y M. R. Pinto-Coelho. 2011. Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 16:253–264.
- Burks, R., D. Lodgee y E. Jeppensen. 2002. Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* 47:343- 365.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 23:361-369.
- Caroni, R. y K. Irvine. 2010. The potential of zooplankton communities for ecological assessment of lakes: redundant concept or political oversight? *Biology and environment proceedings of the Royal Irish Academy* 110(1):35-53.
- Carpenter, S. R. 1981. Submersed vegetation: an internal factor in lake ecosystem succession. *The American Naturalist* 118:372-383.
- Carvalho, M. L. 1983. Efeitos da fluctacao do nivel da agua sobre a densidad e composicao do zooplancton em um Lago de Varzea da Amazonia, Brasil. *Acta Amazonica* 13:715-724.
- CECA (Centro de Calidad Ambiental). 1989. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89. <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf>.
- Cervantes, M. A., M. A. A. Gutiérrez, V. H. B. Delgado y J. D. R. Ruíz. 2012. Especies de zooplancton dulceacuícola de Cozumel. Universidad de Quintana Roo, Cozumel, Quintana Roo, México. 59 p.
- Conde-Porcuna, J. M. E. Ramos- Rodríguez y C. Pérez-Martínez. 2002. Correlations between nutrient concentrations and zooplankton populations in a mesotrophic reservoir. *Freshwater Biology* 47:1463- 1473.
- Conde-Porcuna, J. M., E. Ramos-Rodríguez y R. Morales-Baquero. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas* 13(2):23-29.
- Contreras, F. E. 1994. Manual de técnicas hidrobiológicas. 1^a edición, Trillas, México, D. F. 141 p.
- Christofersen, K., B. Riemann, A. Klysner y M. Scwdergaard. 1993. *Freshwater Biological Laboratory, University of Copenhagen* Potential role of fish predation and natural

- populations of zooplankton in structuring a plankton community in eutrophic lake water. *Limnology and Oceanography* 38(3):561-573.
- Davidson, T., A. H. Bennion, E. Jeppesen, G. H. Clarke, C. Sayer, D. Morley, B. V. Odgaard, P. Rasmussen, R. Rawcliffe, J. Salgado, G. L. Simpson y S. L. Amsinck. 2011. The role of cladocerans in tracking long-term change in shallow lake trophic status. *Hydrobiologia* 676:299-315.
- De los ríos Escalante, P., A. Mancilla y C. Ancerson. 2011. Primer reporte zooplanctónico en Turba con predominancia de *Sphagnum* en la reserva de la Bioesfera de Cabos del Horno (54° S Chile). *Anales Instituto Patagonia (Chile)* 39(1):73-74.
- Dembowska, E., P. Napiórkowski, T. Mieszczankin y S. Józefowicz. 2015. Planktonic indices in the evaluation of the ecological status and the trophic state of the longest lake in Poland. *Ecological Indicators* 56:15–22.
- De Paggi, S. 1993. Composition and seasonally of planktonic rotifers in limnetic and litoral region of a floodplain lake (Paraná River system). *Revista de Biología Tropical* 26:53-63.
- Díaz, A. M. M. 1995. Biomonitoring en sistemas lénticos: el uso de especies indicadoras. *Zoología Informa, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 31:17-35.
- Díaz, D. C., A. M. V. Esteller y V. M. López. 2005. Recursos hídricos: conceptos básicos y estudios de casos en Ibero América. CIRA-UAEM, México. 126 p.
- Dinius, S. H. 1987. Design of an Index of Water Quality. *Water Resources Bulletin* 23:5:833-843.
- Dole-Olivier, M. J., D. M. P. Galassiy, P. Marmonier y M. Creuzeâ Des Chañ Telliers. 2000. The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology* 44:63-91.
- Dorche, E. E., M. Z. Shahraki, O. Farhadian e Y. Keivany. 2018. Seasonal variations of plankton structure as bioindicators in Zayandehrud Dam Lake, Iran. *Limnological Review* 18(4):157-165.
- Duncan, A. 1984. Assessment of factors influencing the composition, body size and turnover rate of zooplankton in Parakrauma Samudra, an irrigation reservoir in Sri Lanka. *Hydrobiologia* 113:201-215.
- Duggan, I. C., J. D. Green y K. Thomasson. 2001. Do rotifers have potential as bioindicators of lake trophic state? *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27:3497-3502.

- Edmonson, W. T. 1946. Factors in the dynamics of rotifers populations. *Ecological Monographs* 16:357-362
- Edmonson, W. T. 1965. Reproductive rate of planktonic rotifers as related to food and temperature in nature. *Ecological Monographs* 35:61-111.
- Ejsmont-Karabin, J. 2012. The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: rotifer trophic index. *Polish Journal of Ecology* 60(2):339-350.
- Ejsmont-Karabin, J. y A. Karabin. 2013. The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 61:561-573.
- Elías-Gutiérrez, M. 1995. Notas sobre cladóceros de embalses a gran altitud en el Estado de México, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 40:197-214.
- Elías-Gutiérrez, M. y S. S. S. Sarma. 1998. Phylum: Rotifera. *Enciclopedia de Quintana Roo* 1:327-343.
- Elías-Gutiérrez, M., J. Ciro-Pérez, E. Suárez-Morales y M. Silva-Briano. 1999. The freshwater cladocera (Orders Ctenopoda y Anopoda) of México, with comments on selected taxa. *Crustaceana* 72:177-186.
- Elías-Gutiérrez, M., E. Suárez-Morales y S. S. S. Sarma. 2001. Diversity of freshwater zooplankton in the neotropics: the case of Mexico. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27:4027-4030.
- Elías-Gutiérrez, M. y M. E. Valdéz-Moreno. 2008. A new cryptic species of *Leberis* Smirnov, 1989 (Crustacea, Cladocera, Chydoridae) from the Mexican semi-desert region, highlighted by DNA barcoding. *Hidrobiológica* 18:63-74.
- Ferdous, Z. y A. K. M. MuktaDir. 2009. A review: Potentiality of zooplankton as bioindicator. *American Journal of Applied Sciences* 6(10):1815-1819.
- Fia, R., A. Teixeira, P. Carteri y O. Pereira. 2009. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Ambiente & Água, An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 12:132-141.
- Flores, B. J. 1998. Estudio sobre los rotíferos como indicadores de calidad del agua. Tesis, Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Autónoma de México. 68 p.
- Forró, L., N. M. Korovchinsky, A. A. Kotov y A. Petrusek. 2008. Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:177-184.

- Gannon, J. E. y R. S. Stemberger. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *Transactions of the American Microscopical Society* 97(1):16-35.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, D. F. 71 p.
- García-Cabrera, J. 2006. Evaluación de la calidad del agua y el plancton del río Santiago y sus posibles efectos sobre el embalse hidroeléctrico de Aguamilpa, Nayarit. Tesis, Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 146p.
- García-Chicote, J., X. Armengol y C. Rojo. 2019. Zooplankton species as indicators of trophic state in reservoirs from Mediterranean river basins. *Inland Waters* DOI:10.1080/20442041.2018.1519352.
- García-Rodríguez, J. y S. R. L. Tavera. 1998. Fitoplancton del lago de Zempoala. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 63:85-100.
- García-Rodríguez, J., F. I. Molina-Astudillo, C. H. Quiroz y A. R. Trejo. 2003. Especies del fitoplancton presentes en el lago Tonatiahua, Morelos. México. *Acta Universitaria* 13(2):53-66.
- Granados, R. J. G. 1990. El comportamiento del zooplancton en tres ambientes acuáticos epicontinentales del estado de Morelos, México. Tesis, Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 42 p.
- Granados-Ramírez, J. G. y C. Álvarez-Del Ángel. 2003. Rotíferos de embalses: Subcuenca del río Cuautla, Morelos-México. *Scientiae Naturae* 6(1):33-43.
- Ghilarov, A. M. 1985. Dynamics and structure of cladoceran populations under conditions of food limitation. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte. Ergebnisse der Limnologie* 21:323-332.
- Gliwicz, Z. M. 1977. Food size selection and seasonal succession of filter feeding zooplankton in a eutrophic lake. *Ekologia Polska* 25:179-225.
- Godínez-Ortega, J. L., M. G. Oliva-Martínez, M. A. Escobar-Oliva y B. Mendoza-Garfias. 2017. Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas. *Hidrobiológica* 27(1):45-58.
- Goldman, R. C. y J. A. Horne. 1994. *Limnology*. 2a edición, McGraw-Hill Education (ISE Editions). 736 p.

- González, E. J., M. Ortaz, M. M. Leny, J. Mendoza, C. Peñaherrera y V. Carrillo. 2002. Zooplankton de dos embalses neotropicales con distintos estados tróficos. *Interciencia* 27(10):551-558.
- Gulati, R. D. 1983. Zooplankton and its grazing as indicators of trophic status in Dutch lakes. *Environmental Monitoring and Assessment* 3:343- 354.
- Gulati, R. D. 1984. Zooplankton and its grazing as measures of trophy in the Loosdrecht lakes. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 22:863-867.
- Gulati, R. D. 1990. Structural and grazing responses of zooplankton community to biomanipulation of some Dutch water bodies. *Hydrobiologia* 200-201:99-118.
- Gunkel, G. 2003. Limnología de un lago tropical de alta montaña, en Ecuador: características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical* 51(2):381-392.
- Gutiérrez, G. S., S. S. S. Sarma y S. Nandini. 2017. Seasonal variations of rotifers from a high altitude urban shallow water body, La Cantera Oriente (Mexico City, Mexico). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 35(6):1387-1397.
- Haberman, J. y M. Haldana. 2014. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *Journal of Limnology* 73(2):61-71.
- Hanazato, T. 2001. Pesticide effects on freshwater zooplankton: an ecological perspective. *Environmental Pollution* 112:1-10.
- Heddam, S. 2016. Secchi disk depth estimation from water quality parameters: artificial neural network versus multiple linear regression models? *Environmental Processes* 3(2):525-536.
- Hernández, S. R., C. C. Fernández y L. M. P. Baptista. 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición. McGraw-Hill. 600 p.
- Herzig, A. 1987. The analysis of planktonic rotifer population: A plea for long term investigations. *Hydrobiologia* 147:163-180.
- Hrbáčková, M. 1974. The size of primiparae and neonates of *Daphnia hyalina* Leydig (Crustacea: Cladocera) under natural and enriched food conditions. *Vestník Cs. Spol. Zoologii* 38:98-105.
- Hutchinson, G. E. 1967. *A treatise on Limnology*. Wiley, Nueva York. 1115 p.
- Infante, A. y W. T. Edmondson. 1985. Edible phytoplankton and herbivorous zooplankton in Lake Washington. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte. Ergebnisse der Limnologie* 21:161-171.

- Jeppesen, E., P. Nøges, T. A. Davidson, J. Haberman, T. Nøges, K. Blank, T. Lauridsen, M. Søndergaard, C. Sayer, R. Laugaste, L. S. Johansson, R. Bjerring y S. L. Amsinck. 2011. Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 676:279-297.
- Jekatierynczuk-Rudczyk, E., P. Zieliński, M. Grabowska, J. Ejsmont-Karabin, M. Karpowicz y A. Więcko. 2014. The trophic status of Suwałki Landscape Park lakes based on selected parameters (NE Poland). *Environmental Monitoring and Assessment* 186:5101-5121.
- Khatri, N. y S. Tyagi. 2014. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science* 8(1):23-39.
- Kehayias, G., E. Chalkia, S. Chalkia, G. Nistikakis, I. Zacharias y A. Zotos. 2008. Zooplankton dynamics in the upstream part of Stratos reservoir (Greece). *Biologia* 63:699-710.
- Kirk, K. L. 1991. Suspended clay reduces *Daphnia* feeding rate: Behavioural mechanisms. *Freshwater Biology* 25:357-365.
- Koste, W. 1978. Rotatoria, die Rädertiere Mitteleuropas: Überordnung Monogononta: ein Bestimmungswerk (German Edition). Gebrüder Borntraeger; 2. Aufl edición. 673 p.
- Koste, W. y R. J. Shiel. 1990 Rotifera from Australian inland waters VI. Proalidae, Lindiidae (Rotifera: Monogononta). *Transacciones de la Royal Society of South Australia* 114:1-36.
- Kuczynska-Kippen, N. 2007. Interactions of con-generic *Lecane* species (Rotifera) within different macrophyte patches in a shallow lake. *Polish Journal of Ecology* 51(1):91-100.
- Lampert, W. y U. Sommer. 2008. Limnoecology. The Ecology of Lakes and Streams. Second Edition. Oxford University Press. 324 p.
- Landa, G. G., L. M. Rull del Aguila y M. R. Pinto-Coelho. 2002. Distribuição espacial e temporal de *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera) em um grande reservatório tropical (reservatório de Furnas), Estado de Minas Gerais, Brasil. *Acta Scientiarum* 24(2):313-319.
- Lewis, W. M. 1996. Tropical lakes: how latitude makes a difference. *Perspectives in tropical Limnology* 43-46.
- López-López, E. y J. A. Serna-Hernández. 1999. Variación estacional del zooplancton del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México y su relación con el fitoplancton y factores ambientales. *Revista de Biología Tropical* 47(4):643-657.

- López, J. y B. J. Salas. 2013. Caracterización comparativa de la condición limnológica del lago guamuéz en relación con la producción de trucha arcoiris en jaulas flotantes. *Entornos* 26(2):181-194.
- López-Rodríguez, M. C., M. Leira, R. Valle y G. Moyá-Niell. 2016. El fitoplancton como indicador de calidad de masas de agua muy modificadas en la DMA. El lago artificial de As Pontes (A Coruña. España). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* 23:85-97.
- Mancini, M., C. Rodríguez, M. Bonansea, A. Astoreca, G. Bagnis, C. A. Da Roca Sosa y A. Dalcero. 2008. Saprolegniasis en poblaciones silvestres de *Astyanax eigenmanniorum* y *A. fasciatus* (Pisces, Characidae) de Argentina. *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria* 30(2):115-122.
- Mancini, M., C. Rodríguez, G. Bagni, A. Liendo, C. Prosper, M. Bonansea y J. G. Tundisi. 2010. Cyanobacterial bloom and animal mass mortality in a reservoir from Central Argentina. *Brazilian Journal of Biology* 70(3):841-845.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España. 681 p.
- Matsumura-Tundisi, T. y J. G. Tundisi. 1997. Mixing processes affecting primary production of phytoplankton in Barra Bonita Reservoir. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 26:536-541.
- Meybeck, M. y R. Helmer. 1996a. An Introduction to water quality. En: Chapman, D. (ed). *Water quality assessments - A guide to use of biota, sediments and water in environmental, monitoring*.
http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter1.pdf.
- Meybeck, M., E. Kuusisto, A. Mäkelä y E. Mälkki. 1996b. Water quality. En: Bartram J. y R. Ballance (eds). *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs*. United Nations Environment Programme and the World Health Organization, London. pp: 15-37.
- Merayo, S. y E. J. González. 2010. Variaciones de abundancia y biomasa del zooplancton en un embalse tropical oligo-mesotrófico del norte de Venezuela. *Revista de biología Tropical* 58(2):603-619.
- Miño, A. C. A. y F. J. A. Rodríguez. 2018. Evaluación del estado trófico en relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del Lago San Pablo, Ecuador. Tesis,

- Maestría, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte. 71 p.
- Mikschi, E. 1989. Rotifer distribution in relation to temperature and oxygen content. *Hydrobiologia* 186-187:209-214.
- Moss, B. 2007. Shallow lakes, the water framework directive and life. What should it all be about? *Hydrobiologia* 584:381-394.
- Muñoz, C. M. E. 2014. Diversidad de Rotíferos de la Clase Monogononta durante un ciclo anual en el Lago Zempoala, Morelos. Tesis, Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Autónoma de México. México. 98 p.
- Nandini, S. S. S., P. Ramírez-García y O. R. Gutiérrez. 2019. Planktonic indicators of water quality. A case study in the Amacuzac River Basin (State of Morelos, México). *River Research and Applications* 35:268-279.
- Nogradý, T., L. Wallace y S. Snell. 1993. *Biology, ecology and systematics*. SPB academic Publishing, The Hague, Netherlands. 142 p
- Odum, H, T. 1972. *Ecología*. Tercera Edición. Interamericana. México. 640 p.
- Oertel, N. y J. Salánki. 2003. Biomonitoring and Bioindicators in Aquatic Ecosystems. En: Ambasht, R. S. y N. K. Ambasht (eds.). *Modern trends in applied aquatic ecology*. Springer, Boston, M. A. pp 219-246.
- Olvera, M. Y. D. 2019. El zooplancton del Lago Zempoala, Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Huitzilac, Morelos, México. Tesis, Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 56 p.
- Osorio, T. R. F. 1942. Rotíferos planctónicos de México. I, II y III. *Revista Social Mexicana* 3(1-4):23-79.
- Palomino, Á. L. A. 2014. Variación estacional de la comunidad de microcrustáceos (copépoda y cladóceras) en la laguna mayor, Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Morelos. Tesis, Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores de Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 85 p.
- Pennak, R. 1979. *Freshwater Invertebrates of the United States*. John Wiley y Sons, Inc. Estados Unidos. 803 p.
- Pejler, B. 1995. Relation to habitat in rotifers. *Hydrobiologia* 313-314:267-278.

- Pejler, B. 1977. On the global distribution of the family Branchionidae (Rotatoria). *Archiv für Hydrobiologie* 8:212-220.
- Pereira, R., A. M. V. M. Soares, R. Ribeiro y F. Gonçalves. 2002. Assessing the trophic state of Linhos lake: a first step towards ecological rehabilitation. *Journal of Environmental Management* 64:285-297.
- Pholpunthin, P. y S. Chittapun. 1998. Freshwater Rotifera of the genus *Lecane* from Songkhla Province, southern Thailand. *Hydrobiologia* 387-388:23–26.
- Pinto-Coelho, R. M., C. M. Nunes, M. Barbeitos, C. A. Moraes y S. T. Guerra. 1998. O impacto da Refinaria Gabriel Passos na estruturação da comunidade zooplanctônica no reservatório de Ibirité, Betim, Minas Gerais. *Biota Neotropical* 11(3):287-301.
- Psenner, R. y J. Catalan. 1994: Chemical composition of lakes in crystalline basins: a combination of atmospheric deposition, geologic background, biological activity and human action. En: Margalef, R. (ed.), *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems*. Amsterdam, Elsevier. pp. 255-314.
- Pomari, J., D. D. Kane y M. G. Nogueira. 2018. Application of multiple-use indices to assess reservoirs water quality and the use of plankton community data for biomonitoring purposes. *International Journal of Hydrology* 2(2):168–179.
- Quiroz-Castelán, H., M. Díaz, R. Trejo y E. Elizalde. 2000. Aspectos sobre la abundancia y distribución de los principales grupos de la fauna bentónica en el Lago “Zempoala”, Morelos, México. *Ciencia y Mar* 10:39-50.
- Ramchandra, T. V., R. Rishiram y B. Karthik. 2006. Zooplanktons as bioindicators: hydro biological investigation in selected Bangalore lakes. Technical report 115.
- Rico-Martínez, R. y M. Silva-Briano. 1993. Contribution to the knowledge of the rotifer of Mexico. *Hydrobiologia* 255-256:467-474.
- Robles, J. E. G. y G. M. C. Esqueda. 2008. Composición zooplanctónica en grandes embalses de México. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*. Jalisco, México. 423-431.
- Rodier, J. 1981. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y aguas de mar. Omega, Barcelona, España. 1959 p.
- Rodríguez, G. M. Y. 2015. Composición de zooplancton en la laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa. *Agua, Saneamiento y Ambiente* 10(1):46-53.
- Ruttner-Kolisko, A. 1974. Plankton rotifers. Biology and taxonomy. *Die Binnengewasser Suppl.*

26:1-274.

- Sanoamuang, L. 1996. *Lecane segersi* n.sp. (Rotifera, Lecanidae) from Thailand. *Hydrobiologia* 339:23–25.
- Sanders, R.W., D. A. Lepper, C. H. King y G. K. Porter. 1994. Grazing by rotifers and crustaceans zooplankton on nannoplankton protist. *Hydrobiologia* 288:161-181.
- Santeiro, R. M., R. M. Pinto-Cohelo y L. Sipaúba-Tavares. 2006. Diurnal variation of zooplankton biochemical composition and biomass in plankton productions tanks. *Acta Scientiarum Biological Sciences* 28:103-108.
- Santillán-Alarcón, S., V. Sorani-Dalbón, J. R. Bonilla-Barbosa, J. Luna-Figueroa y H. Colín. 2010. Escenario geográfico. En *Biodiversidad, conservación y manejo en el Corredor Biológico Chichinautzin. Condiciones Actuales y Perspectivas*. Cuernavaca, Morelos: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 315 p.
- Sarma, S. S. S. 1999. Checklist of rotifers (Rotifera) from México. *Environmental Ecology* 17(4):978-983.
- Sarma, S. S. S. y M. Elías-Gutiérrez. 1997. Taxonomic studies rotifers (Rotifera) from Mexico. *Polish Archives of Hydrobiology* 44:341-357.
- Sarma, S. S. S., M. Elías-Gutiérrez y S. C. Serranía. 1996. Rotifers from high altitudes crater-lakes at Nevado de Toluca volcano, Mexico. *Hidrobiológica* 6:33-38.
- Scheffer, M. 1999. The effect of aquatic vegetation on turbidity; how important are the filter feeders? *Hydrobiologia* 408-409:307-316.
- Schindler, D. W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography* 51:356-363.
- Schwörbel, J. 1975. *Métodos de hidrobiología (biología de agua dulce)*. Hermann Blume Ediciones, Madrid. 237 p.
- Sedeño-Díaz, J. E. y E. López-López. 2009. Evaluación de la salud de los ecosistemas dulceacuícolas: una revisión de su evolución en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. En: Ortega-Reyes, J., J. E. Sedeño-Díaz J. E. y E. López-López (eds) *Setenta y cinco años de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. Instituto Politécnico Nacional. pp. 378-394.
- Segers, H. 1995. Rotifera 2. The Lecanidae (Monogononta). En: Dumont, H. J. y T. Nogrady (eds). *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World* 6. SPB Academic Publishing BV. pp. 226.

- Segers, H. 1996. The biogeography of littoral Lecane Rotifera. *Hydrobiologia* 323:169-197.
- Segers, H. 2007. Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa* 1564:1–104.
- Segers, H. y P. Pholpunthin. 1997. New and rare Rotifera from Thale-Noi Lake, Pattalung Province, Thailand, with a note on the taxonomy of Cephalodella (Notommatidae). *Annales de Limnologie*. 33:13–21.
- Segers, H. y S. Savatnalintorn. 2010. A critical re-evaluation of the Lecanidae (Rotifera: Monogononta) of Thailand, with description of a new species. *International Review of Hydrobiology* 95:343–351.
- Segers, H., N. Wadiaro y H. Dumont. 1993. Rotifera of some lakes in the floodplain of the River Niger (Imo State Nigeria). II Faunal composition and diversity. *Hydrobiologia* 250:63-71.
- Sendacz, S. 1993. Distribuição geográfica de alguns organismos zooplancctônicos na América do Sul. *Acta Limnol. Brasil* 6:31-41.
- Serranía, S. C. R. 1996. Diversidad de rotíferos monogononotos en algunos ecosistemas acuáticos del Estado de México. Tesis, Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Autónoma de México. 74 p.
- Siddiqui, S. Z. y S. V. A. Chandrasekhar. 1996. New distribution record of *Trichotria tetractis* (Rotatoria/Trichotriidae) and *Daphnia lumholtzi* (Brachiopoda/Cladocera/Daphniidae) from Kolleru lake andhra Pradesh with notes on indicator value. *Journal of the Bombay Natural History Society* 93:309-310.
- Sigala, I., M. Caballero, A. Correa-Metrio, S. Lozano-García, G. Vázquez, L. Pérez y E. Zawisza. 2017. Basic limnology of 30 continental waterbodies of the Transmexican Volcanic Belt across climatic and environmental gradients. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 69(2):313-370.
- Sládeček, V. 1983. Rotifers as indicator of water quality. *Hydrobiol* 100:169-201.
- Slugocki, L. y R. Czerniawski. 2018. Trophic state (TSISD) and mixing type significantly influence pelagic zooplankton biodiversity in temperate lakes (NW Poland). *PeerJ* 6:e5731.
- Smirnov, N. N. 1971. Chydoridae of the World fauna. *Fauna of the USSR, Crustacea. New Serie* 101. 643 p.
- Sokal, R. y F. J. Rohlf. 1980. *Introducción a la bioestadística*. Reverté, S. A. Barcelona, España. 362 p.

- Stamou, G., Katsiapi M., Moustaka-Gouni M. y Michaloudi E. 2019. Trophic state assessment based on zooplankton communities in Mediterranean lakes. *Hydrobiologia* 844:83-103.
- Stemberg, S. 1979. Aguide to rotifers of the Laurentian great lake. EPA report, 600/4-79-021, Cincinnati, Ohio, Estados Unidos. 186 p.
- Stegeman, J. J. y M. E. Hahn. 1994. Biochemistry and molecular biology of monooxygenase: current perspective on forms, functions, and regulation of cytochrome P450 in aquatic species. En: Malins, D. C. y G. K. Ostrnader (eds). *Aquatic Toxicology; Molecular, Biochemical and Cellular Perspectives*. Lewis Publishers, CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos. pp. 87-204.
- Suárez-Morales, E., P. L. Segura y A. M. A. Fernández. 1986. Diversidad y abundancia del plancton en la laguna de Catemaco, Veracruz durante un ciclo anual. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-3/articulo256.html
- Suárez-Morales E., M. Silva-Briano y M. Elías-Gutierrez. 2000. Redescription and taxonomic validity of *Leptodiptomus cuahutemoci* (Osorio-Tafall, 1941) (Copepoda, Clanoidea) with notes on its known distribution. *Journal of Limnology* 59(1):5-14.
- Taboada, S. M., A. E. Granjeno-Colín y G. R. Oliver. 2009. Normales climatológicas (Temperatura y Precipitación) del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. 258 p.
- Thorp, H. J. y A. P. Covich. 2001. Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates. Second edition. Academic Press. Estados Unidos. 248 p.
- Torres, B. A. M. 2013. Ecología trófica y dinámica del zooplancton en dos lagos de inundación de la Amazonia Colombiana. Tesis, Doctorado, Universidad Nacional de Colombia. 109 p.
- Trejo, A. R. 2012. Variación del zooplancton en el Lago Zempoala, Morelos, México. Tesis, Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 159 p.
- Trejo-Albarrán, R., J. G. Granados Ramírez, J. L. Gómez-Márquez, B. Peña-Mendoza y J. R. Bonilla-Barbosa. 2014. Variación del cladócero *Daphnia laevis* Birge, 1879 en el Lago Zempoala, Morelos, México. *Revista Mesoamericana* 18(1):25-38.
- Trejo-Albarrán, R, J. G. Granados-Ramírez, J. L. Gómez-Márquez y A. E. Granjeno-Colín. 2018. Variation of Endemic Copepod *Leptodiptomus cuahutemoci* in Zempoala Lake, Morelos, Mexico. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 8(3):269-284.

- van der Oost, R., J. Beyer y N. P. E. Vermeulen. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13:57-149.
- Varona-Cordero, F. y M. F. J. Gutiérrez. 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica* 13(3):177-194.
- Visman, V., D. McQueen y E. Demers. 1994. Zooplankton spatial patterns in two lakes with contrasting fish community structure. *Hydrobiologia* 284:177-191.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and rivers ecosystem*. Academic Press. 1006 p.
- Wetzel, R. G. y G. E. Likens. 2000. *Limnological Analyses*. 3rd Edition. Springer-Verlag. Nueva York. 429 p.
- Wilhm, J. L. y T. C. Dorris 1968. Biological parameters for water quality criteria. *BioScience* 18:477-481.
- Williamson, G. E y J. W. Reid. 2001. Copepoda. En: Thorp, J. H. y A. P. Covich (eds). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Washington. Pp. 849- 913
- Yin, L., Y. Ji, Y. Zhang, L. Chong y L. Chen. 2018. Rotifer community structure and its response to environmental factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai. *Aquaculture and Fisheries* 3:90-97.
- Zambrano, L. 2007. La vida en las aguas continentales. *Ciencia* 72-79.
- Zanatta, S. A., R. Torres-Orozco, J. A. Zavala-Hurtado y M. A. Pérez-Hernández. 2007. Plankton rotifers from a tropical lake: differences in distribution and migration patterns in two mixing events, with similar abiotic conditions. *Hidrobiológica* 17(1):1-10.
- Zhdanovaa, S. M., V. I. Lazarevaa, N. G. Bayanovb, E. V. Lobunichevac, N. V. Rodionovad, G. V. Shurganovaf, D. V. Kulakove y M. Yu Il'in. 2016. Distribution and Ways of Dispersion of American Rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in Waterbodies of European Russia. *Russian Journal of Biological Invasions* 7(4):308–320.

Cuernavaca, Mor., a 17 de septiembre de 2021

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA”**, que presenta la alumna **ERÉNDIRA BETSAÍ GÓMEZ MARTÍNEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES; lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dra. Patricia Trujillo Jiménez
Profesora Investigadora UAEM

C.c.p. archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

PATRICIA TRUJILLO JIMENEZ | Fecha:2021-09-20 07:54:45 | Firmante

uK/VRbskY25XqBFJjixPSbk5TPnkzdOAmSt8JLratlKfKtbQ2h6ZBzXJC4125ZvvuPJFMeFcxUu7XHYXF98+GE0Xbu3+0bOI7vBty726iLvtUxtWRflvQFMFcoBi8JW19V8bEZ9kPr7pdkKJ6sW3fA6Tj6G0syhFvvF1gRsmHUVUbFNRRtYpIIQDTImB8NJaTbBYMSK+ono+FKsgqG4xQZ/qDmmHPZCnRi0weB2hK/BtKMBvZwZccHF8d//+9/ipmAjhmgf21NHG/+JSYJZnp8MNoW3hOCrHkRy7KVehpStbjqt0hK70aSsPARH33snH0rpEt9W5WoHeKJdUoUdqow==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



5NCM93

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Ntbkm5CzOHA81ESdqB7zJFIeBX0cp7F6>



Cuernavaca, Mor., a 17 de septiembre de 2021

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA”**, que presenta la alumna **ERÉNDIRA BETSAÍ GÓMEZ MARTÍNEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES; lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en C. Migdalia Díaz Vargas
Profesora Investigadora UAEM

C.c.p. archivo

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209,
Tel. (777) 329 70 29, Ext. 3511 / coord.posgradocib@uaem.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MIGDALIA DIAZ VARGAS | Fecha:2021-09-23 12:07:33 | Firmante

hK/twIM/i53t8fZdB3CJVkyz2711jZ1KzZ6LDYVwQr5Y7IALc8mgWWa4QIQMh/IP4o6WgNSyOdx1DMoUcuTPsaGB4f43BO1mc+F+xwHD7tAk6ygEdcAqc0D4k7gMjy9PDnhy4xA
PKVnUssEdMtq2mylGYpzfMsy7A6HoguXNP4Mnw47d2MSPC8Yx8H+69vkEQMGarcAnF2sEguDqslhSISBc12K0ydWyM0CUwZefC/KSgDMzMb61TEgpQ3Toa8rjerygQv4Szee
usmfybw8lhbl67IGUWFmIstqlpHwYVC8DaMabO8Tu0h5ZULwI3mUeYIN2fxQLbiHLSZ52hhlrw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



NjUzuV

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/vAwyAnDL0YGARox4LdZs6XHj3GG7KJEQ>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales



CENTRO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
UAEM

Cuernavaca, Mor., a 17 de septiembre de 2021

DR. ALEJANDRO GARCÍA FLORES
ENCARGADO DE DESPACHO DE LA DIRECCIÓNALES
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA”**, que presenta la alumna **ERÉNDIRA BETSAÍ GÓMEZ MARTÍNEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES; lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Rubén Castro Franco
Profesor Investigador UAEM

C.c.p. archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

RUBEN CASTRO FRANCO | Fecha:2021-09-26 22:23:35 | Firmante

IB1OynpB48Z/vzf21e7bDC3U87TxLd5mWgzqO3/gjG8hPCITvElZbZp2d1dq6zlerKnF8eyR89UNg53IBZ75ze4SVOokEGG1Bf18By5K/sMuXPjJAo38vu0d5n3rhem4IQT/XSGQV4AzltzgcGSzPPdv4Nzg94IDYvJA9kngYaJFQMSnd8Vm5+YOPt322Ov9VH/eGdmKbfd7JGPcRAgPDzPnGV1DbfPhOfhaVL6iUHmolh1ekxA/XBgW3baMRdiqEOPtyRlzoSslHjz+EN58eBewHmsaJGROqAmiZyB57rJkzYfpQ8i2A8YkrxKpkUW/A8O8mAvwr7Bbee3re+VQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



6HdpJr

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0EHMgaPapvWfaVjqY9ZmesqVBU3h200>





Cuernavaca, Mor., a 17 de septiembre de 2021

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA”**, que presenta la alumna **ERÉNDIRA BETSAÍ GÓMEZ MARTÍNEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES; lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Alejandro García Flores
Profesor Investigador UAEM

C.c.p. archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ALEJANDRO GARCIA FLORES | Fecha:2021-09-30 11:32:26 | Firmante

OibIsADajlfEAWqPeHF8Y+Ni5/MaiQJMXcXb7m0bD06Fu0sBvoIDUspQLVho7TFKOSPCbQWcqzr3PjtnTdeFEzE+OgpbXesT+1EtE1KRNC9OXTQEvpU8MQ6IBz4/1SBrs9ULDAz6j4GHiAuNqj9+If17X0HwKLG2e0Ro1KNXUsAi20vc4UjwllKjJp5OZBDWX98QmCxV5/MAjKQHS4+nigFQxRUDroz8P2ySVMRb6JIE909f14X8HvTURWrXd3N1HI887W6h4ml7YKdn3Gp1D0SRrm6brNpmYjT8ua6vBYBxIZ8Fw8qz/my6v2oilVZNRXx+gnNVIR9lg556+dOvw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



MtfoE

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/hAkaRvli00gqTnF9275a7wGNJTpvQtkL>



Cuernavaca, Mor., a 17 de septiembre de 2021

**DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA”**, que presenta la alumna **ERÉNDIRA BETSAÍ GÓMEZ MARTÍNEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES; lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en C. Judith García Rodríguez
Profesora Investigadora UAEM

C.c.p. archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JUDITH GARCIA RODRIGUEZ | Fecha:2021-09-30 16:13:34 | Firmante

BIVtqPQ2zBWSX7WckbJAQgUA6gX2sS8jo5P9rMBvyuhafiwcPERc8bsB1hSsvBQtqx09M2+yxfGOviGCOKYStK5859ASjYjTnxJV2cEYSKg0ZzOye8NrU6FS6CrbLU2ItUfL2PXM9ybSt5SnOoE1I2JXd3pNynMWHG1Q5s9RtuAv5ca73g6VeMAuY7nHBofZHULGXy+zqqKSXsJF1wwO8gGoFdtAB+n1vfEOlnAAJbjLGuK1z8fuSC2uzds7JIRAg7iKC0VWyrrGSVbP
hrQO3pLHeVvWWWFTJHmMbQBpBneG0KdkHkVX1smcEiDMNbkZ+04votfobmZ+o4xfYYO5bQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



8LzoGN

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/RjYftZ6TtEfZx010ustZRWurb8qhJiwN>



Cuernavaca, Mor., a 17 de septiembre de 2021

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“MONITOREO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS LAGOS ZEMPOALA Y TONATIAHUA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ESTADO TRÓFICO Y COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA”**, que presenta la alumna **ERÉNDIRA BETSAÍ GÓMEZ MARTÍNEZ**, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES; lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la alumna continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en C. Roberto Trejo Albarrán
Profesor Investigador UAEM

C.c.p. archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ROBERTO TREJO ALBARRAN | Fecha:2021-09-20 13:19:34 | Firmante

jYqX4J9Dvxhf2ZGaWb0OFCXIX4Xo1Cay9qnwh5q4Df5/Qt67AOERXmiMhdX//cM5dSzN/Kx8t1aPb628QQxZCYUTcKd3buZu6DvDFL5Z3lZNQnuq9LK2wHLFVvjb2FC2l7eKTX41bH7J/qb78wrCFrXnKz5wMZ++hxh/oKrShRl8qqhczm+FxS9zaeOy6VvQ6dv/lblBrZzgLAor9KwmRNYwLXoCh+aNLPQd111orsiTn8T2CpLsXR9Go0BZOg7R0o/+WdxNgKW26r3t tBSouNQ4FLz3lrDEm4wLddfV7++OxnI0hDoT2HEUhXa82GVIFcHu0ULTGU4kK+eQ2ajqoQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



09Reuq

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/IT8lYosmnCsbFppu5c9ZU6Pj83737e5K>

