

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

Trabajo de graduación

**Migración dial vertical del zooplancton en dos puntos del lago de
Atitlán, Guatemala (Panajachel y Santiago Atitlán)**



Presentado por

T. A. Jorge Alberto Ortíz Morales

**Para otorgarle el título de
Licenciado en Acuicultura**

Guatemala, enero del 2022

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

Trabajo de graduación

**Migración dial vertical del zooplancton en dos puntos del lago de
Atitlán, Guatemala (Panajachel y Santiago Atitlán)**

Presentado por

T. A. Jorge Alberto Ortíz Morales

**Para otorgarle el título de
Licenciado en Acuicultura**

**Asesora: M. Sc. Karla Evelyn Paz Cordón
Guatemala, enero del 2022**

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

Consejo Directivo

Presidenta	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante Docente	M. Sc. Norma Edith Gil de Castillo
Representante del Colegio de Médicos	
Veterinarios y Zootecnistas	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representantes Estudiantiles	T. A. Karol Rubí Rivas T. A. Alejandra Contreras



Coordinación Académica
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del asesor, M.Sc. Karla Evelyn Paz Córdón, al trabajo de graduación del estudiante **Jorge Alberto Ortiz Morales**, titulado: "Migración dial vertical del zooplancton en dos puntos del lago de Atitlán, Guatemala (Panajachel y Santiago Atitlán)" da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

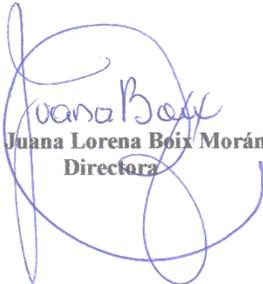
M.Sc. Erick Villagrán
Coordinador Académico



Guatemala, noviembre de 2021

La directora del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación del estudiante universitario **Jorge Alberto Ortiz Morales**, titulado “Migración dial vertical del zooplancton en dos puntos del lago de Atitlán, Guatemala (Panajachel y Santiago Atitlán)” da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Dra. Juana Lorena Boix Morán
Directora



Guatemala, noviembre de 2021

Agradecimientos

A la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac) y al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (Cema), por ser mi casa de estudios, así como a los catedráticos y compañeros de estudio que además de instruirme, me han apoyado y motivado.

Al Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (Dica) de La Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atitlán y su Entorno -Amsclae-, Por todo su apoyo en mis actividades de investigación.

A mi asesora M. Sc. Karla Paz, y al catedrático M. Sc. José Roberto Ortíz, por la orientación y ayuda brindada en la realización de este trabajo.

Acto que dedico

A mi Dios creador que gobierna y guía mi vida

Con todo mi Amor a mis padres, Ana María Victoria Morales Pineda y Jorge Alberto Ortíz Henry, por motivarme, apoyarme y demostrarme constantemente que son los mejores padres que existen. A ustedes por siempre mi amor y más profundo agradecimiento.

A mi familia, amigos y compañeros de promoción, que se han involucrado en mi vida y que de alguna u otra manera me han enseñado y acompañado a lo largo de esta.

Resumen

El zooplancton es un conjunto de organismos exclusivamente animales que forman parte del plancton, está constituido por protozoos, pequeños crustáceos, medusas, gusanos, moluscos, así como huevos y larvas de diversas especies que se desplazan en la columna de agua. La importancia de este grupo es que junto al fitoplancton constituye la base de la pirámide alimenticia de los ecosistemas acuáticos, que a su vez son alimento de otros peces y organismos mayores, por lo que al ser un grupo de importancia en el intercambio de energía a niveles superiores, se deben estudiar los distintos factores que influyen en el comportamiento de este grupo en la columna de agua debido a que a donde estos organismos se encuentren o dirijan, ese mismo comportamiento se manifestará en sus depredadores. Por lo que el objetivo de este trabajo es determinar patrones de comportamiento en la migración vertical del ensamble zooplanctónico del lago Atitlán, para conocer mejor la interacción entre los diversos factores involucrados que generan un impacto en la dinámica del zooplancton, y los organismos que habitan en la columna de agua coexistiendo entre sí.

Los muestreos se realizaron en los meses de abril y mayo en los puntos establecidos, Panajachel y Santiago, a profundidades de 0-30 metros; logrando identificar las taxas *Ceriodaphnia*, *Keratella*, *Cyclopoida*, *Calanoida*, *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Asplanchna* y *Brachionus*. Se logró identificar patrones de distribución constante en la columna de agua de todos los organismos a las profundidades mencionadas. Mientras que para parámetros físicos se muestreó la temperatura y oxígeno de los puntos y profundidades mencionadas, con el fin de relacionar el comportamiento vertical de los organismos con estos parámetros.

Se identificaron y denotaron relaciones entre las taxas y los parámetros evaluados durante el estudio.

Palabras clave: Plancton, movimiento vertical, Patrón de distribución, Centro América.

Abstract

Zooplankton is a set of exclusively animal organisms that are part of plankton, they are made up of protozoa, small crustaceans, jellyfish, worms, mollusks, as well as eggs and larvae of various species that move in the water column. The importance of this group is that together with phytoplankton they constitute the base of the food pyramid of aquatic ecosystems, which in turn are food for other fish and larger organisms, so being an important group in the exchange of energy at higher levels, the different factors that influence the behavior of this group in the water column should be studied, because where these organisms are or are directed, the same behavior will be represented in their predators. Therefore, the objective of this work is to determine behavior patterns in the vertical migration of the zooplankton assemblage of Lake Atitlán, to get a better understanding of the interaction between the various factors involved that generate an impact on the dynamics of zooplankton, and the behavior of the organisms that live in the water column coexisting with each other.

The samplings were carried out in the months of April and May at established points, such as Panajachel and Santiago, at depths of 0-30 meters; managing to identify the taxa Ceriodaphnia, Keratella, Cyclopoida, Calanoida, Daphnia, Diaphanosoma, Bosmina, Asplanchna and Brachionus. It was possible to identify patterns of constant distribution in the water column of all organisms at the aforementioned depths. Temperature and oxygen were the physical parameters measured in order to relate them with the vertical behavior of the organisms.

Relationships between the taxa and the parameters evaluated during the study were identified and denoted.

Key words: Planktonic assembly, Distribution pattern, Plankton, Central America.

Índice de contenido

1.	Introducción	1
2.	Marco teórico y estado del arte	3
2.1	Marco teórico	3
2.1.1	Zooplancton	3
2.1.2	Importancia del zooplancton	3
2.1.3	Principales taxa de zooplancton en el lago de Atitlán	4
2.2	Estado del arte	4
3.	Objetivos	7
3.1	Objetivo general	7
3.2	Objetivos específicos	7
4.	Materiales y métodos	8
4.1	Enfoque y tipo de investigación	8
4.2	Delimitación de la investigación	8
4.2.1	Delimitación espacial	8
4.2.2	Delimitación temporal	9
4.3	Definición de variables	11
4.4	Muestreo y selección de la muestra	11
4.5	Procedimiento	13
4.6	Procesamiento y análisis de la información	14
5.	Resultados	15
6.	Discusión	23
7.	Conclusiones	27
8.	Recomendaciones	28
9.	Referencias bibliográficas	29
10.	Anexo	34

Índice de figuras

Figura 1.	Sitios muestreados para el monitoreo de migración vertical de zooplancton	9
Figura 2.	Ubicación del sitio de muestreo en Panajachel	10
Figura 3.	Ubicación del sitio de muestreo en Santiago Atitlán	10
Figura 4.	Utilización de la botella Van Dorn para la toma de muestras	12
Figura 5.	Utilización de la red de 20 micras para el filtrado de Utilización de la red de 20 micras para el filtrado de las muestras de zooplancton	13
Figura 6.	Cámara de conteo tipo carrusel Ward Counting Wheel	13
Figura 7.	Proporción de los géneros de zooplancton identificados en los puntos de muestreo	15
Figura 8.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Cyclopoida</i>	17
Figura 9.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Calanoida</i>	17
Figura 10.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Ceriodaphnia</i>	17
Figura 11.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Daphnia</i>	18
Figura 12.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Bosmina</i>	18
Figura 13.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Keratella</i>	19
Figura 14.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Brachionus</i>	19
Figura 15.	Gráfico tipo cometa de migración vertical de <i>Asplanchna</i>	20
Figura 16.	Diagrama de correspondencia canónica entre los parámetros: oxígeno disuelto, concentración de OD, temperatura, pH y conductividad y el ensamble zooplanctónico en Panajachel	20
Figura 17.	Diagrama de correspondencia canónica entre los parámetros: oxígeno disuelto, concentración de OD, temperatura, pH y conductividad y el ensamble zooplanctónico en Santiago Atitlán	21

Índice de tablas

Tabla 1.	Principales taxa de zooplancton Centro Weiss G y Santiago Atitlán 2013-2014	4
Tabla 2.	Coordenadas de los puntos de muestreo	8
Tabla 3.	VARIABLES de investigación	11
Tabla 4.	Total de organismos de las distintas taxa encontradas	16
Tabla 5.	Análisis de correlación de Spearman	22

1. Introducción

Dentro de la comunidad planctónica se encuentra el zooplancton, el cual se define como animales microscópicos de nado libre que representan una pieza de gran importancia en la fauna acuática. Este grupo mantiene una posición céntrica en la cadena trófica de la mayoría de los cuerpos de agua continentales y es reconocido por ser un enlace entre los productores primarios y consumidores secundarios del ecosistema de un lago (Mwevaza-Ndawula, 1994). Las principales taxa que se suelen presentar en un cuerpo de agua lenticó son los rotíferos, cladoceros y copépodos (Conde et al., 2004).

La migración vertical es el término referido al desplazamiento vertical de un individuo o conjunto de individuos, que ocurre diariamente o en un periodo de tiempo determinado (Torres & Estrada, 1997). Dicho comportamiento, en una comunidad de zooplancton, puede ser clasificado en tres tipos de desplazamiento migratorio vertical, los cuales pueden ser: migración inversa (descendencia nocturna), migración normal (ascenso nocturno) y migración no detectable (Ohman, 1990). El comportamiento de migración predominante en una comunidad puede ser diverso, dependiendo de la fuente principal de mortalidad pudiendo ser esta la depredación mediante la alimentación nocturna de una o varias taxa de zooplancton o en su lugar, la caza visual por parte de peces planctívoros (Ohman, 1990). Sin embargo, recientemente se ha propuesto que el comportamiento migratorio no está estructurado por el grado de depredación en las aguas superficiales, sino por los gradientes de temperatura en la columna de agua (Torres & Estrada, 1990). Por lo cual, es de gran importancia generar la mayoría de los datos posibles acerca del comportamiento de estos organismos que permitan respaldar una de las dos hipótesis.

En el lago Atitlán, se han realizado estudios acerca de la distribución de fitoplancton y zooplancton, en los que se ha logrado establecer cierto orden de magnitud para los patrones de distribución vertical en la columna de agua, así como también la identificación de diferencias significativas, especialmente en la diversidad de taxones que se encuentran a lo largo de la misma (De León & Reyes, 2017; Juday, 1915; Meek, 1908; Weiss, 1971).

Las principales taxa que se encontraron durante la investigación fueron *Ceriodaphnia*, *Keratella*, *Cyclopoida*, *Calanoida*, *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Asplanchna* y *Brachionus*, las cuales se encontraron en ambos puntos sin embargo, se logró evidenciar un diferencia de abundancia entre las profundidades y los puntos de muestreo.

Por otro lado, Weiss (1971) logró determinar que no había un patrón regular de distribución de zooplancton en el lago Atitlán. Así mismo descubrió que las poblaciones de zooplancton probablemente estaban asociadas con la migración vertical diurna, notando un cambio estacional característico en la estructura del ensamble a dicho tiempo y que las estaciones con mayor abundancia de estos organismos se localizaban en las dos bahías menos profundas del lago. Sin embargo, no realizó ningún análisis que vinculara los patrones de migración con algunos parámetros físicos. Por esta razón, el presente estudio pretende evaluar la migración vertical del zooplancton y sus relaciones con factores ambientales con el fin de establecer una base para la utilización de estos organismos como bioindicadores.

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Zooplancton

El término zooplancton deriva de las palabras griegas, zoon que significa “animal” y planktos que significa “errante” (Castro & Huber, 2005), por lo que su definición se refiere a organismos que viven en constante movimiento. Estos organismos son considerados como un grupo muy diverso, en su mayoría microscópicos y pertenecientes a los ecosistemas acuáticos, además de conformar un grupo de animales que se encuentra distribuido a lo largo de la columna de agua, tanto en medios marinos como continentales (Colomer, 2001).

2.1.2 Importancia del zooplancton

Estos organismos cumplen un importante papel en el funcionamiento y productividad de un ecosistema acuático, debido a su influencia en la dinámica de nutrientes y a su posición trófica en la cadena alimenticia acuática (Downing, 1984; Mathias, 1971; Mwevaza-Ndawula, 1994; Wright, & O'Brien, 1984;). Componen una gran porción de la abundancia y biomasa de estos ecosistemas acuáticos (Gannon & Stemberger, 1978); así como también forman un componente significativo de las dietas de muchos peces y a la vez han sido utilizados como indicadores de la calidad de un cuerpo de agua (Hoxmeier & Wahl, 2004).

Dentro de la importancia de los papeles que desempeña el zooplancton la literatura menciona las dinámicas estacionales y la sucesión de las especies de plancton que son afectadas por diversas variables fisicoquímicas (Angino et al., 1973) y su alimento (Behn & Boumans, 2001). Dentro de las variables fisicoquímicas más importantes se mencionan el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto; las cuales tienen influencia, regulando la diversidad y densidad del ensamble zooplanctónico (Berzins & Pejler, 1989).

Además de su contribución en biodiversidad, el zooplancton se establece en una posición intermedia significativa en la cadena alimenticia acuática, lo cual los remarca con importancia en la transferencia de energía, a la vez que poseen el potencial de regular la estructura del fitoplancton y los diferentes conjuntos de presas del zooplancton (Ogari & Dadzie, 1988).

2.1.3 Principales taxa de zooplancton en el lago Atitlán

La presencia y composición de las comunidades acuáticas en un cuerpo de agua, pueden ser un excelente indicador del estado trófico del mismo. En cuanto a la comunidad zooplactónica, para el lago Atitlán se ha descrito a los rotíferos, copépodos y ciliados entre otros, como los grupos más abundantes (Martínez, 2018) (Tabla 1).

Tabla 1

Principales taxa de zooplancton Centro Weiss G y Santiago Atitlán 2013-2014

Filo	Orden	Género		
Platyhelminthes	n.i.	n.i.		
Ciliophora	n.i.	n.i.		
	Haptorida	<i>Didinium</i>		
	Sessilida	<i>Vorticella</i>		
	Peritrichida	<i>Vaginicola</i>		
Sarcodina	Heliozoa	n.i.		
Rotífera	Flosculariacea	<i>Hexarthra</i>		
		<i>Brachionus</i>		
	Ploima	<i>Keratella</i>		
		<i>Asplanchna</i>		
		<i>Euchlanis</i>		
		<i>Ascomorpha</i>		
		<i>Gastropus</i>		
		<i>Trichocerca</i>		
		Arthropoda	Cyclopoida	n.i.
			Calanoida	n.i.
<i>Ceriodaphnia</i>				
<i>Bosmina</i>				
Diplostraca	<i>Diaphanosoma</i>			
	<i>Simocephalus</i>			
	<i>Daphnia</i>			

Nota: Modificado de Martínez, 2018.

2.2 Estado del arte

En los últimos años el lago Atitlán ha sufrido un proceso denominado eutrofización, el cual se presenta como respuesta al aumento de nutrientes (nitratos y fosfatos principalmente), provocando una proliferación de fitoplancton y macrófitas acuáticas. El proceso de

eutrofización es natural y común en cualquier ecosistema acuático, pero debido a actividades antropogénicas dicho proceso se ve acelerado, lo cual se cree que es debido principalmente a la descarga de aguas residuales y malas prácticas agrícolas utilizadas en la cuenca, por lo que la calidad fisicoquímica del agua ha ido disminuyendo, provocando así una alteración considerable en variables fisicoquímicas y biológicas de este cuerpo de agua (Azurdia, 2014).

Los cambios y alteraciones que afectan al cuerpo de agua pueden llegar a ocasionar fuertes impactos en la calidad del agua, economía local y posibles consecuencias en la salud humana de las comunidades aledañas. Debido a esto la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (Amsclae), a través del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental (Dica) se encarga de monitorear y registrar todos los micro y macro componentes de este ecosistema (Azurdia, 2014). Así como la identificación y mitigación de dichos impactos.

En el año 2014, se evaluó la relación de la población del fitoplancton y zooplancton en tres sitios de muestreo del lago. El objetivo de la investigación fue correlacionar las dinámicas de ambos grupos, para percibir la influencia de uno con otro. Los sitios muestreados fueron: Centro Weiss G. Panajachel y Santiago en los meses de mayo y junio. Las muestras se colectaron mensualmente a profundidades de 0, 5, 10, 20 y 30 m, con dichas muestras se realizaron conteos mediante una cámara Sedgwick-Rafter para la obtención de las densidades relativas por litro de agua. Los resultados de este estudio permitieron observar una comparación entre niveles de clorofila a, población y biovolumen de fitoplancton con las poblaciones y tasas de zooplancton presentes. También se obtuvo la abundancia relativa del fito y zooplancton, definiendo una correlación positiva entre las abundancias de ambas poblaciones (Martínez et al., 2014).

En los años 1997 al 2000 se realizó una investigación mediante el código de barras de ADN, basado en secuencias del gen COI mitocondrial, el cual se ha utilizado como herramienta de identificación de especies en distintos grupos de organismos, el estudio tuvo como objetivo establecer la base de los códigos de barras del zooplancton de agua dulce que se encuentra en México y Guatemala a la vez que se discutió las implicaciones biológicas y taxonómicas de este trabajo. Durante la investigación se examinaron 61 especies de *Cladocera* y 21 de *Copepoda*

que es aproximadamente el 40% del total de estos organismos identificados en esta región. Los códigos de barras tuvieron éxito en la discriminación de todas las especies de esta investigación a la vez que revelaron evidencias de especies ignoradas por los sistemas de clasificación actuales. Los resultados indicaron también que el código de barras de ADN puede ser aplicado para proporcionar conocimientos nuevos sobre la incidencia de especies y así brindar una comprensión más amplia de las distribuciones del zooplancton en esta área (Gutiérrez et al., 2008).

Durante los años 2013 y 2014 se realizó un estudio en los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán, que tenía como finalidad describir la reproducción del zooplancton y la asociación entre las comunidades del zooplancton y fitoplancton en el lago Atitlán. Después de describir la época reproductiva de los principales grupos; identificando embriones en el caso de los cladoceros y huevos en el caso de los rotíferos y copépodos, se realizó un análisis de correlación de Spearman entre las abundancias del fitoplancton y zooplancton. A partir de este análisis se encontró relación entre el género *Staurastrum* con los copépodos Cyclopoida y Calanoida con un valor de ρ de 0.59, la especie *Aulacoseira granulata* (Simonsen, 1979) se relaciona con el género *Didinium* con un valor de ρ de 0.63 y el género *Vaginicola* con un valor de 0.61 (Martínez, 2018).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar patrones de comportamiento en la migración vertical del ensamble zooplanctónico del lago Atitlán, Guatemala.

3.2 Objetivos específicos

- Describir la composición y abundancia del ensamble zooplanctónico en la columna de agua del lago Atitlán, Guatemala.
- Establecer los patrones de migración dial espaciotemporal del ensamble zooplanctónico en el lago Atitlán, Guatemala.
- Evaluar la relación entre el ensamble zooplanctónico con los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua en el área de estudio.

4. Materiales y métodos

4.1 Enfoque y tipo de investigación

La investigación se establece de tipo descriptivo, ya que en la actualidad no se cuenta con información referente a la migración espacio temporal del zooplancton en el lago Atitlán.

4.2 Delimitación de la investigación

4.2.1 Delimitación espacial

El lago Atitlán constituye uno de los recursos hídricos de mayor importancia para Guatemala, además de ser una fuente principal de recursos económicos y biológicos para las comunidades aledañas a dicha cuenca. El lago se encuentra dentro de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago Atitlán (Rumcla) (Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), 2007). Se ha registrado que cuenta con una extensión de la cuenca de 546.03 km², un espejo de agua de 125.36 km², además de una profundidad media de 203.99 m y un volumen de agua de 25.49 km³. Es el lago más grande de América Central por volumen, el cual presenta transición temprana de oligotrófico a mesotrófico (Amsclae, 2015). Se le conoce como un lago de origen volcánico, endorreico el cual se encuentra a una elevación de 1562 m.s.n.m. (Castellanos, & Dix, 2009).

La investigación se desarrolló en dos sitios de muestreo dentro del lago Atitlán, seleccionados debido a que la calidad de agua de estos ha sido monitoreada con anterioridad, así como también para tener la posibilidad de evaluar una bahía y una ubicación más amplia dentro del cuerpo de agua. Dichos sitios se encuentran ubicados en el embarcadero de Panajachel y la bahía de Santiago Atitlán (Figura 1), con sus correspondientes coordenadas (Tabla 2).

Tabla 2.

Coordenadas de los puntos de muestreo

Sitio	Coordenadas	
Panajachel (ZP)	X: 428009	Y: 1629273
Santiago Atitlán (ZS)	X: 420215	Y: 1617127

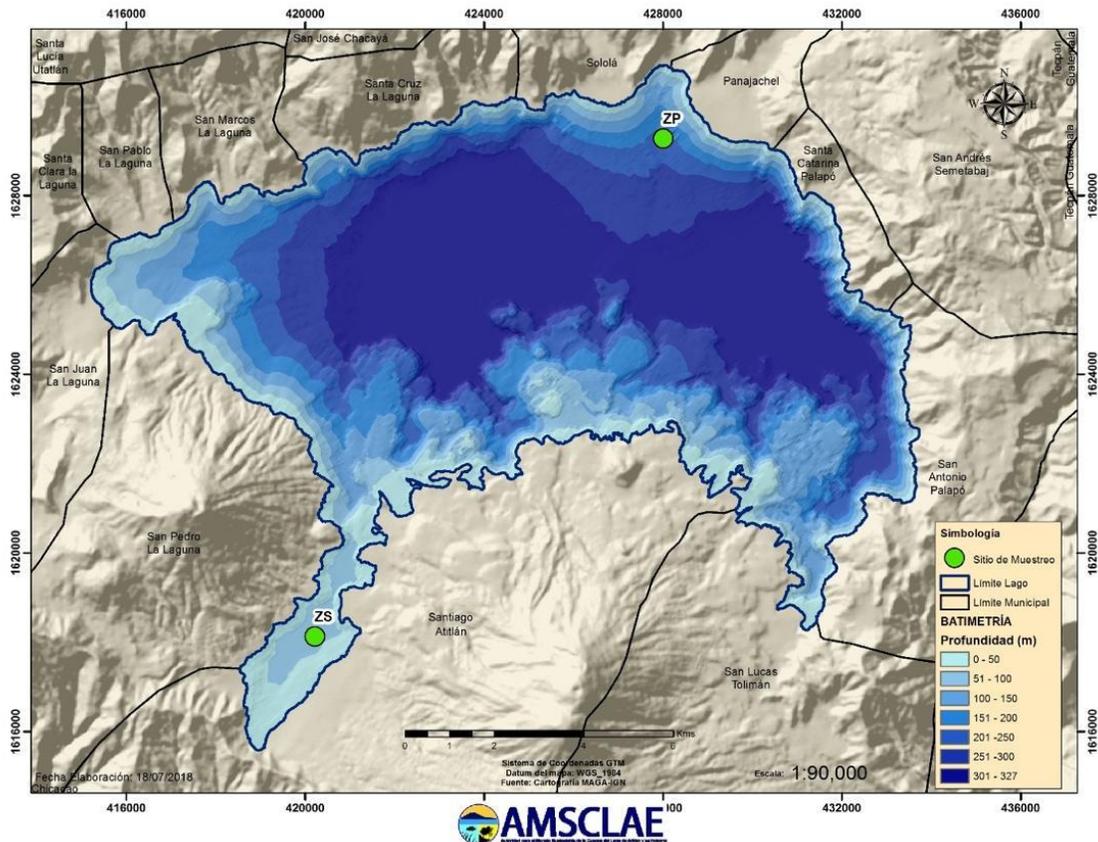


Figura 1. Sitios muestreados para el monitoreo de migración vertical de zooplancton (Amsclae, 2018)

4.2.2 Delimitación temporal

Los muestreos se realizaron en el año 2018. El primero de ellos el 26 de abril en Panajachel, coordenadas GTM X 428009, Y 1629273 (Figura 2) y el segundo el 22 de mayo en Santiago Atitlán, coordenadas GTM X 420215 Y 1618127 (Figura 3).

Los muestreos se realizaron en los meses de abril para Panajachel y en mayo para Santiago Atitlán. Cada muestreo se realizó en 6 periodos distribuidos en 24 horas (5:00, 8:00, 12:00, 14:00, 17:00 y 22:00 horas.). Dichas horas se tomaron referentes a un estudio de migración vertical de plancton trabajado en Amsclae. (Martínez, 2018). La distribución de los periodos de muestreo fue establecida para poder muestrear con las primeras horas luz, el medio día donde la intensidad lumínica es mayor y las horas nocturnas. Además de añadir tiempos de muestreo entre estos periodos para denotar cambios en las dinámicas de migración.

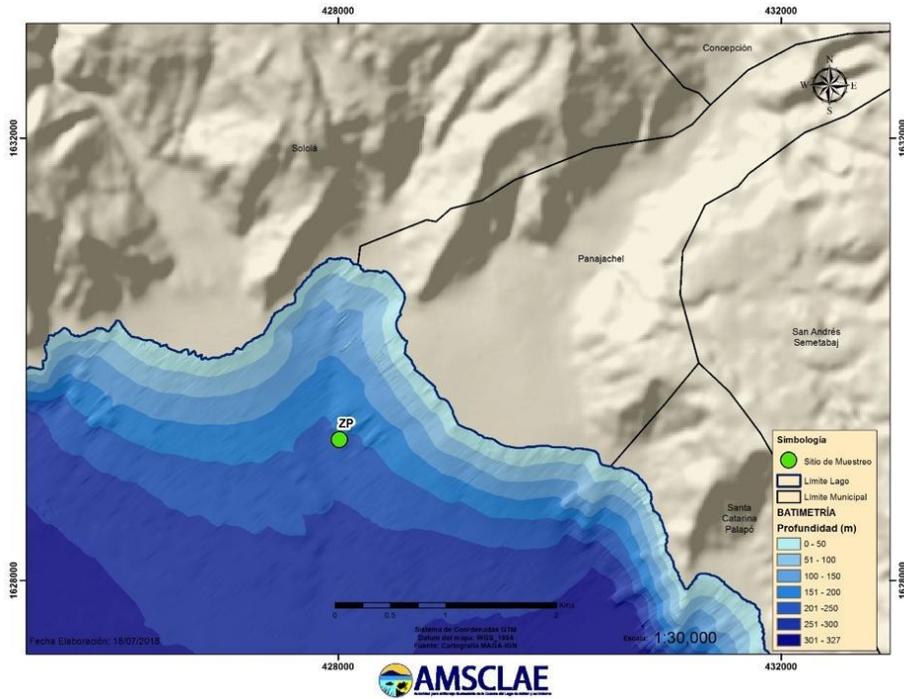


Figura 2. Ubicación del sitio de muestreo en Panajachel (Amsclae, 2018)

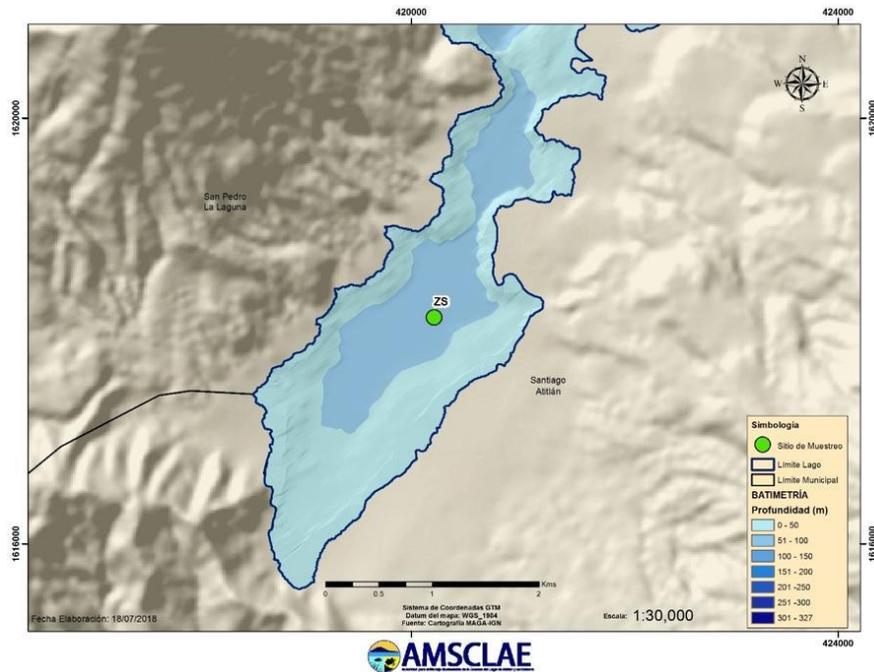


Figura 3. Ubicación del sitio de muestreo en Santiago Atitlán (Amsclae, 2018)

4.3 Definición de variables

A continuación, se presentan las variables fisicoquímicas y biológicas que fueron evaluadas para este estudio (Tabla 3).

Tabla 3

Variables de investigación

Variable	Dimensional
Oxígeno disuelto	mg/L
Concentración de oxígeno	%
Temperatura	°C
pH	grado de acidez o basicidad
Conductividad	S/m
Densidad de población	organismos/L

4.4 Muestreo y selección de la muestra

Las muestras se tomaron a las profundidades de 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 metros, empezando de menor a mayor profundidad, esto con el fin de no perturbar las muestras de profundidades mayores.

Para la medición de los parámetros in situ como el oxígeno disuelto, concentración de oxígeno, temperatura, pH y conductividad se utilizó una sonda multiparamétrica HydroLab DS5 recomendada para este tipo de estudios (Apha et al., 1992; Galbraith & Schneider, 2000). Adicionalmente se registró la medida de transparencia del disco de Secchi, en ambos sitios de muestreo (Anexo 4), utilizando la técnica adecuada para la medición de cada parámetro (Contreras, 1994; Deevey, 1957; Rodier, 1981).

Para la toma de muestras el dispositivo de muestreo utilizado fue una botella de Van Dorn de 3.2 litros, la cual tiene la característica de poder cerrarse desde la superficie una vez estando sumergida, mediante un peso ejercido por un mensajero para así tomar la muestra a la profundidad deseada (Figura 4). Se recogieron dos muestras por profundidad para una muestra total de 6.4 litros. Las muestras se filtraron a través de una malla de plancton de 20 μm , posterior a la filtración, el concentrado de plancton se conservó en una solución diluida de formaldehído.



Figura 4. Utilización de la botella Van Dorn para la toma de muestras

Para la evaluación cualitativa y cuantitativa del ensamble zooplanctónico, la colecta de muestras se realizó mediante el filtrado de una muestra de 6.4 L (equivalente al volumen colectado dos veces en una botella de Van Dorn de 3.2 L) a través en una red de plancton de 20 μ m (Figura 5) debido a que se recomienda el uso de redes ante otros métodos cuando los componentes son escasos o si se requieren de datos cualitativos (Apha et al., 1992). La red utilizada recibe el nombre de Red tipo Wisconsin Abierta. Al tomar las muestras de un lago se debe utilizar una red de malla del tamaño correcto y tomando un número suficiente de muestras (se tomaron 42 muestras por sitio) para que los datos sean significativos.



Figura 5. Utilización de la red de 20 micras para el filtrado de las muestras de zooplancton

4.5 Procedimiento

En el laboratorio, se realizaron tres conteos cuantitativos con la ayuda de una rueda de conteo tipo carrusel (10 mL Ward counting Wheel) (Figura 6) bajo un microscopio de contraste a fase 100 x para un total de 30 ml por muestra. La identificación de los organismos se llevó a cabo al nivel taxonómico más bajo posible utilizando claves taxonómicas (Gutiérrez et al., 2008; Nogrady & Segers, 2002; Witty, 2004).



Figura 6. Cámara de conteo tipo carrusel Ward Counting wheel

4.6 Procesamiento y análisis de la información

La entrada de los conteos e identificación de los organismos se realizó mediante una base de datos que contenga la información de una forma clara y sistemática en el programa Microsoft Excel[®].

La densidad de población (expresada como organismos/litro) de cada taxón se calculó utilizando el número de individuos por muestra, el volumen inicial, el volumen final y el volumen contado.

$$Densidad \left(\frac{org}{litro} \right) = \frac{(numero\ de\ individuos * Vol\ final\ (ml))1000}{Vol\ inicial * Vol\ contado\ (30ml)}$$

La información generada fue procesada utilizando estadística descriptiva, agrupando las taxa más significativas y los géneros más abundantes y poder determinar y describir la migración vertical durante el periodo evaluado. Se utilizó el coeficiente de correlación producto momento de Pearson y un análisis de correspondencia canónica (Reyes, 1982; Sokal & Rohlf, 1980; Steel & Torrie, 1988), para cumplir así con el objeto de determinar el grado de asociación de los distintos factores fisicoquímicos en relación con la distribución y abundancia del zooplancton en cada uno de los puntos de muestreo.

Para analizar la migración vertical dial, las muestras en cada ubicación del área de estudio se agruparon de acuerdo con la profundidad y la hora (de la toma de datos), lo que resultó en un perfil de abundancia de zooplancton por sitio y hora del día. Se utilizó un análisis de varianza (Anova) multifactorial para determinar si la densidad del zooplancton era significativamente diferente en cada profundidad y en cada momento del día. Finalmente, se realizó un análisis de correspondencia (CA) para evaluar si los taxones estaban asociados a una cierta profundidad. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete base R v3.4 (R Core Team, 2017).

Para medir la relación entre los parámetros fisicoquímicos y el ensamble zooplanctónico de las taxa de zooplancton en los puntos de muestreo se utilizó un Análisis de correlación de Spearman el cual mide fuerza y dirección entre la relación de dos variables (Martínez, 2009).

5. Resultados

6.1 Composición y abundancia del ensamble zooplanctónico

A partir de los dos muestreos realizados se identificaron nueve taxas: *Ceriodaphnia* (Cladocera), *Keratella* (Rotífera), Cyclopoida y Calanoida (Copépoda), *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Asplanchna* y *Brachionus*. Los tres taxa más abundantes fueron *Ceriodaphnia* (Cladocera), Cyclopoida (Copépoda) y *Keratella* (Rotífera) con una abundancia porcentual de 82%, 43% y 35% respectivamente. El resto de taxa presentó una abundancia porcentual menor al 18% (Figura 7).

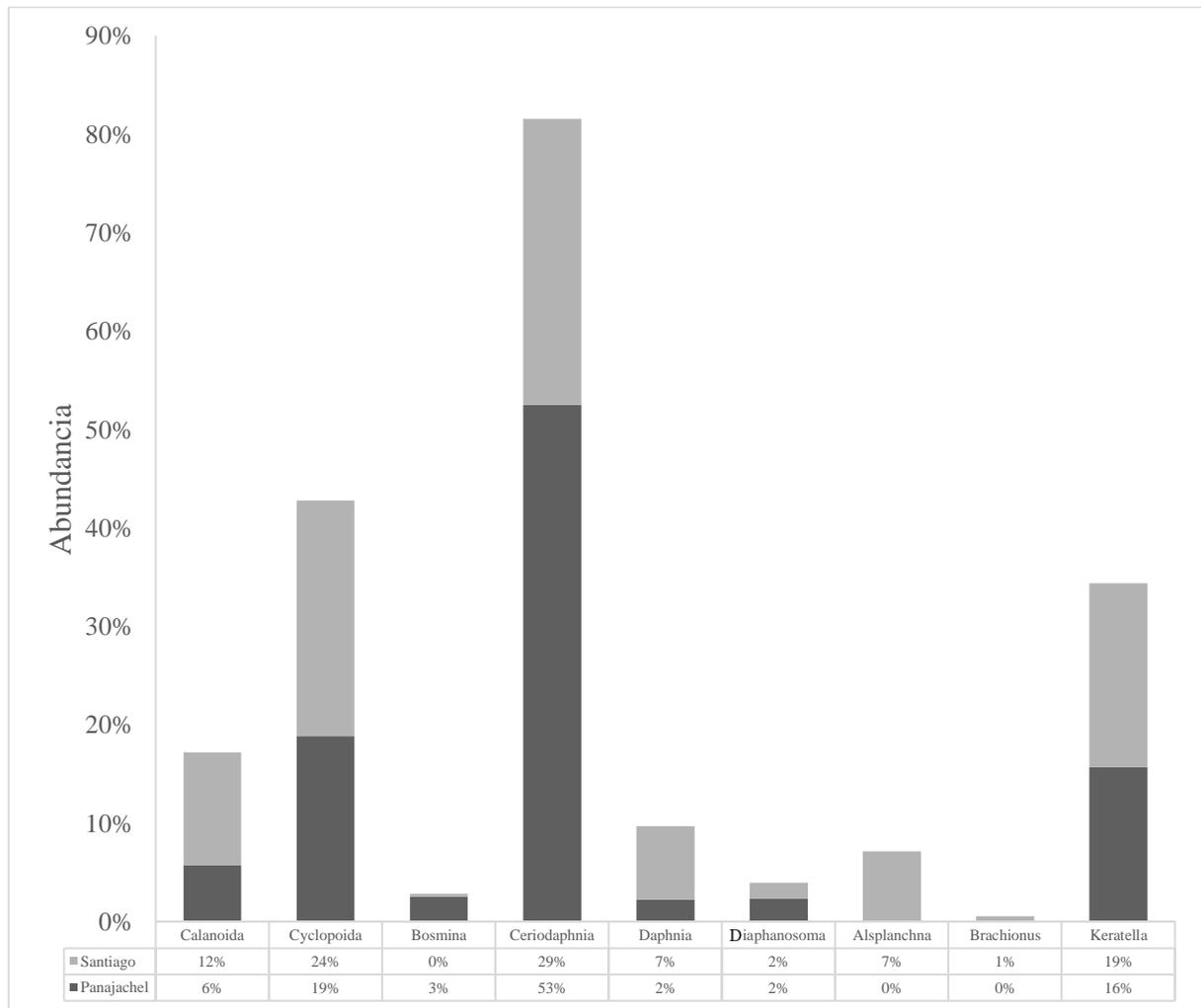


Figura 7. Proporción de los géneros de zooplancton identificados en los puntos de muestreo

En la tabla 4 se muestra el total de organismos encontrados durante los meses de estudio, donde se puede observar la cantidad de taxa en los dos puntos, demostrando que hay mayor abundancia en el punto de Santiago donde se encuentra el mayor nivel de oxígeno en la columna de agua monitoreada.

Tabla 4.

Total de organismos de las distintas taxa encontradas

Taxa	Panajachel	Santiago
Calanoida	219	1224
Cyclopoida	726	2540
<i>Bosmina</i>	97	33
<i>Ceriodaphnia</i>	2022	3082
<i>Daphnia</i>	86	790
<i>Diaphanosoma</i>	91	170
<i>Asplanchna</i>	3	748
<i>Brachionus</i>	1	54
<i>Keratella</i>	604	1985

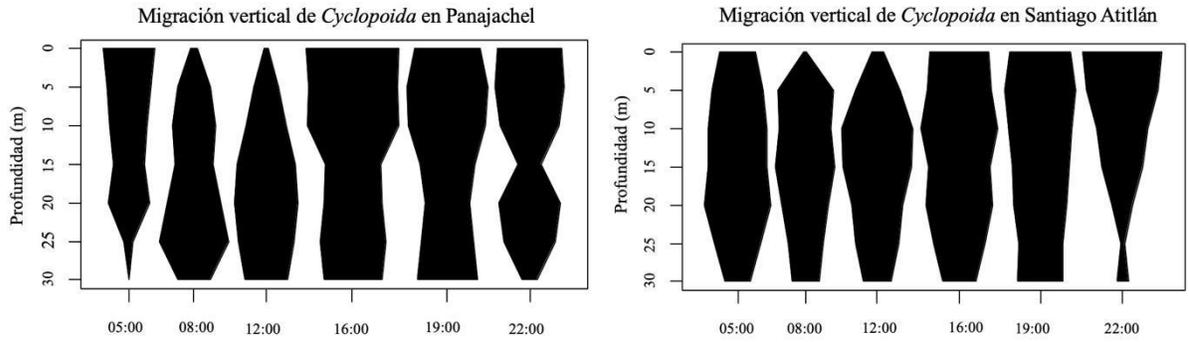


Figura 8. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Cyclopoida*.

La figura 8 muestra la distribución del género *Cyclopoida*, el cual tuvo una presencia constante en la columna de agua, incrementando su agrupación a las 5:00 horas entre los 0-20 metros y luego a las 8:00 y 12:00 horas incrementando su agrupación a partir de los 5 y 10 metros, donde se observaron cambios evidentes debido a la intensidad de luz en la columna de agua. Mientras que a las 19:00 horas mostraron una distribución más constante y una preferencia por la superficie a las 22:00 horas en el punto de Santiago Atitlán.

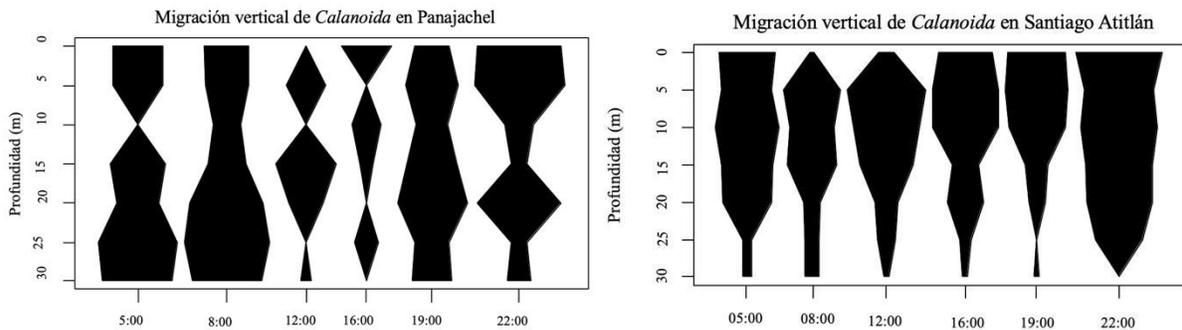


Figura 9. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Calanoida*.

La taxa *Calanoida* (Figura 9), muestra agrupaciones constantes en los distintos horarios en Panajachel, mientras que en Santiago se presenta en agrupaciones en la superficie, 5 y 15 metros.

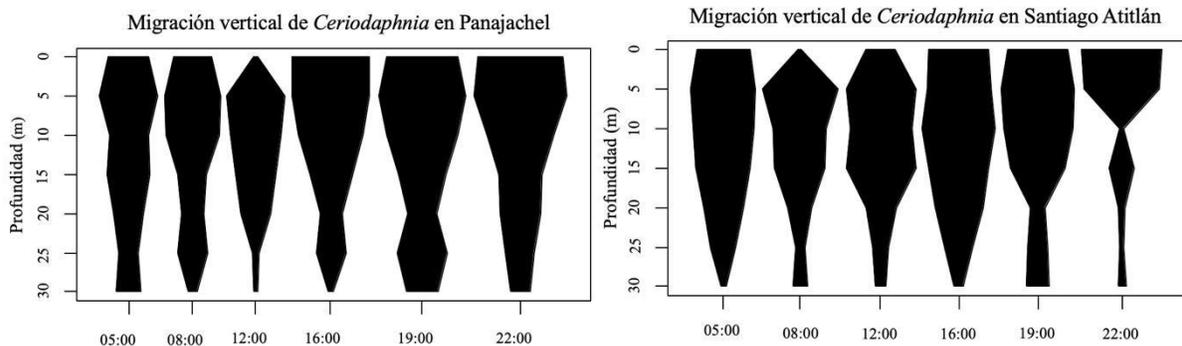


Figura 10. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Ceriodaphnia*.

La taxa *Ceriodaphnia* (Figura 10), muestra predilección a profundidades entre 0-5 metros con mayor abundancia, mientras que a profundidades de 20-25 metros, su abundancia disminuye hasta alcanzar los 30 metros.

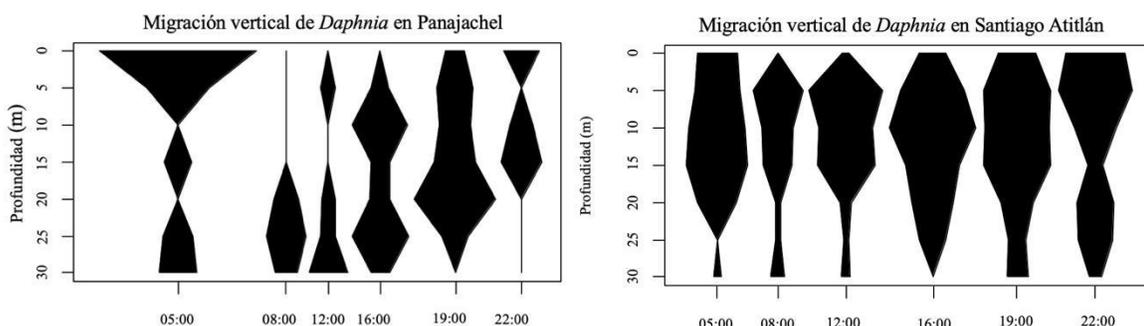


Figura 11. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Daphnia*.

Se puede observar que *Daphnia* también presentó afinidad por la superficie (Figura 11), notando un cambio en el punto de Santiago a las 08:00 y 12:00

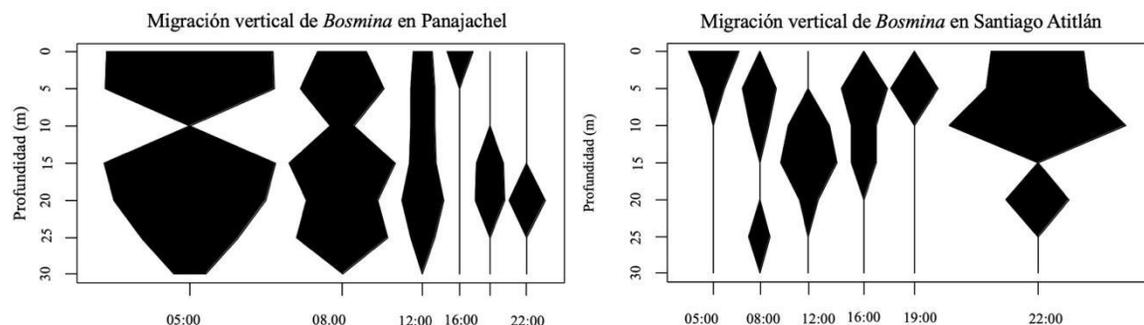


Figura 12. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Bosmina*

El género *Bosmina*, fue encontrado en menor frecuencia de los cladoceros, este presentó una preferencia de distribución en rangos de profundidad de 0 - 5 m y 15 m, correspondientes a los tiempos de muestreo de las 5:00 am y 8:00 am, donde se identificó un comportamiento distinto al comparar ambos sitios de muestreo ya que en el punto de Panajachel se encontró mayor número de organismos a tempranas horas 05:00 y 08:00 horas. A diferencia del sitio de Santiago donde el mayor número de organismos se encontró a las 22:00 horas (Figura 12)

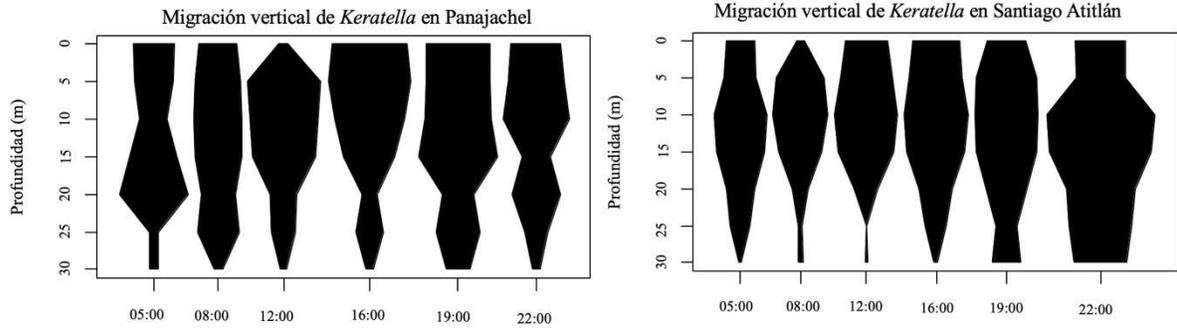


Figura 13. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Keratella*.

Dentro de los rotíferos, la taxa que presentó mayor abundancia fue *Keratella*, su distribución no se vio afectada en las profundidades y horarios de toma de muestra y se mantuvo entre 0 – 15 metros en la columna de agua (Figura 13).

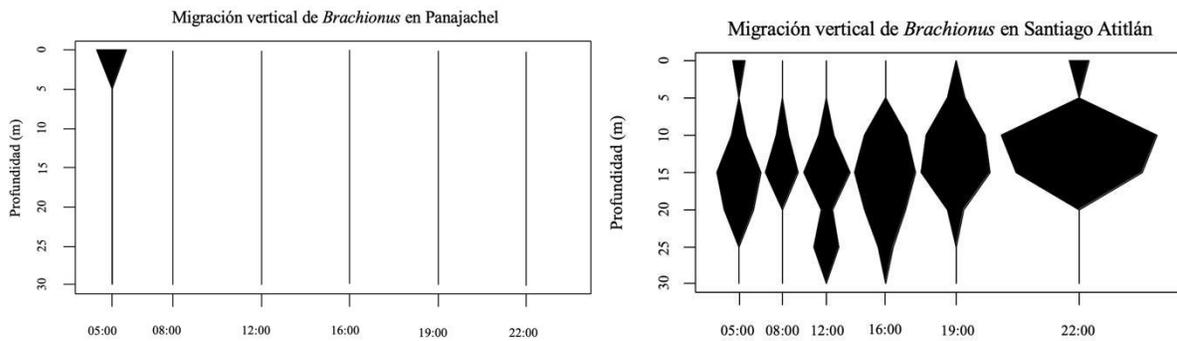


Figura 14. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Brachionus*.

Brachionus es un organismo que se identificó únicamente en una ocasión en el punto de Panajachel a 0 metros, mientras que en el punto de Santiago se evidencia una preferencia de este organismo a 15 m de profundidad debido a que estos rotíferos son una presa frecuente de los copépodos (Figura 14).

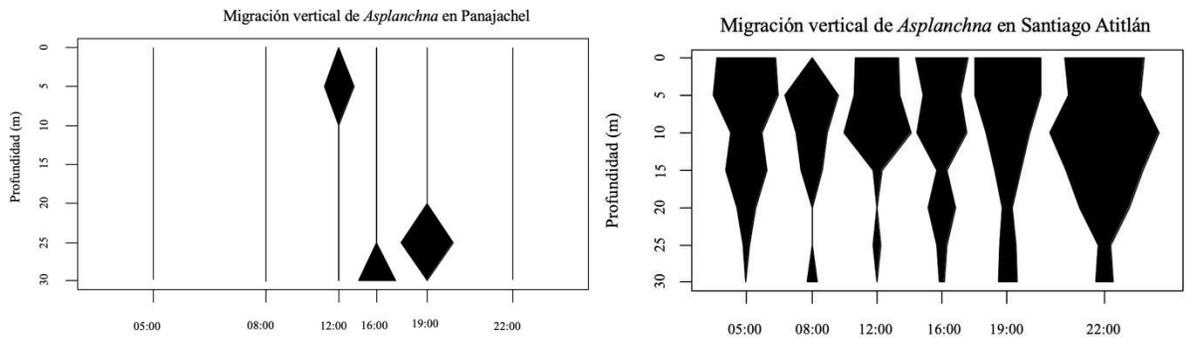


Figura 15. Gráfico tipo cometa de migración vertical de *Asplanchna*.

Al igual que el rotífero anterior, *Asplanchna* se presentó con poca abundancia en el punto evaluado en Panajachel, pero en Santiago, se presentó con preferencia entre 0-10 m únicamente con la diferenciación de que estos organismos encontrados en Santiago eran de menor tamaño y poco frecuentes luego de 20 metros (Figura 15).

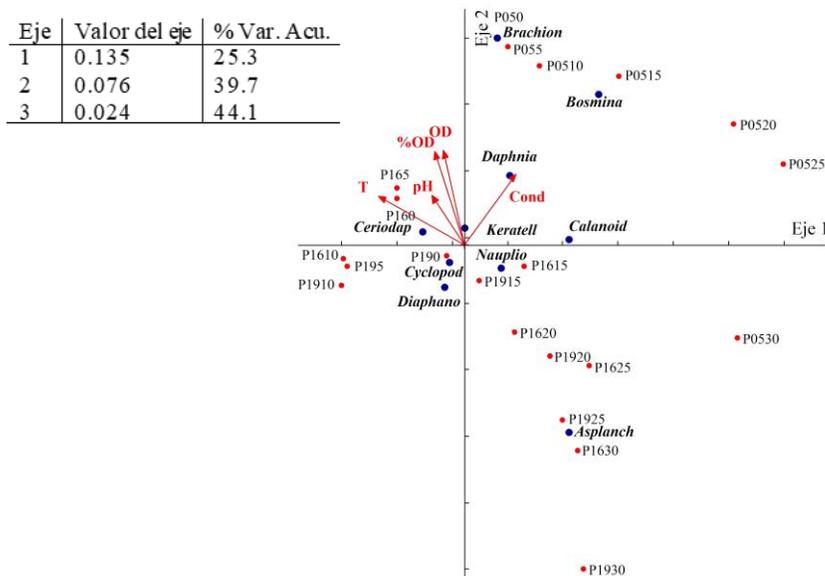


Figura 16. Diagrama de correspondencia canónica entre los parámetros: oxígeno disuelto, concentración de OD, temperatura, pH y conductividad y el ensamble zooplanctónico en Panajachel.

Para establecer la relación de los factores ambientales en el comportamiento migratorio y las densidades de organismos presentes en la columna de agua, se realizó un análisis de correspondencia canónica, evaluando así la influencia de los parámetros tomados: Oxígeno disuelto (OD), concentración de OD (%), temperatura (T), pH y conductividad. La conductividad, es un indicador que evidenció la afinidad de los rotíferos: *Brachionus* y *Keratella*, cladoceros: *Daphnia* y *Bosmina*, el copépodo del género *Calanoida* y en menor influencia con el género *Cyclopoida*; ya que este último mostró una afinidad por valores de oxígeno y temperaturas bajas (Figura 16).

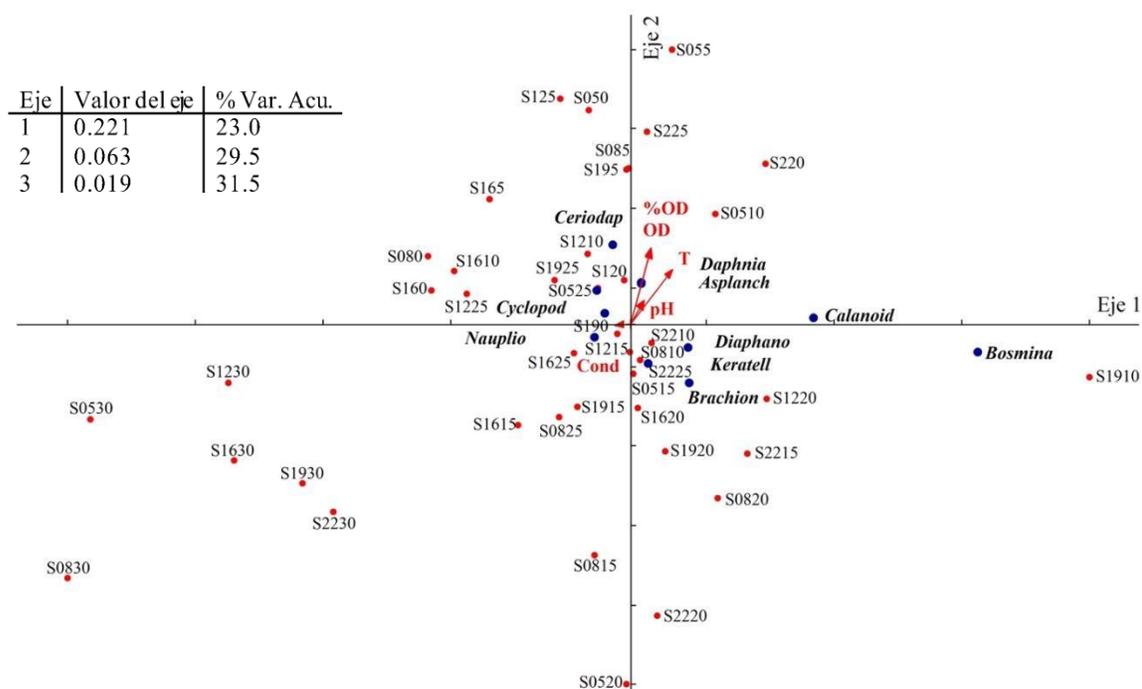


Figura 17. Diagrama de correspondencia canónica entre los parámetros: oxígeno disuelto, concentración de OD, temperatura, pH y conductividad y el ensamble zooplanctónico en Santiago Atitlán

En el punto de Santiago podemos correlacionar los géneros *Cyclopoida*, *Ceriodaphnia* y *Nauplio* con la conductividad, por otro lado, con las variables oxígeno, temperatura y el pH se relacionaron con *Calanoida* y *Daphnia* en mayor afinidad que con las otras especies (Figura 17).

Tabla 5.

Análisis de correlación de Spearman

	r^2	p
<i>Nauplio – Cyclopoida</i>	0.81099	0.00043221
<i>Keratella - Ceriodaphnia</i>	0.8989	0.00001235
T °C – <i>Ceriodaphnia</i>	0.93846	0.00000068
<i>Asplanchna – Daphnia</i>	0.82292	0.00030041
OD – <i>Keratella</i>	0.88571	0.00002504
% OD – <i>Keratella</i>	0.88571	0.00002504
T °C – <i>Keratella</i>	0.94286	0.00000044
T °C – OD	0.92967	0.00000149
T °C - % OD	0.92967	0.00000149

Este análisis comparó todas las distintas variables involucradas entre ellas mismas para encontrar relaciones entre las distintas variables los valores de r^2 y p. donde los valores de r^2 oscilan entre 0 o 1 positivo como negativamente. El valor nos dice si es directamente proporcional por ser valores positivos y en P tenemos un límite de 0.05 si el valor es menor o igual a este dato si hay significancia. En el cuadro se muestran los resultados más altos obtenidos.

6. Discusión de resultados

Durante los muestreos realizados se identificó organismos que correspondían a las taxas *Ceriodaphnia* (cladocera), *Keratella* (Rotifera), Cyclopoida y Calanoida (Copepoda). Con abundancias relativas >14% otras taxas presentes fueron *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Asplanchna* y *Brachionus* (40%) que se distribuían en los dos puntos de muestreo como se muestra en la Figura 7, por lo que se evidenció que en el punto de Santiago se encuentra mayor abundancia y posee un mayor nivel de oxígeno en la columna de agua monitoreada.

En los patrones de migración vertical expuestos a continuación se pueden observar los elementos dominantes del zooplancton, en los cuales los cladoceros se mantuvieron principalmente en la superficie y los copepodos a una profundidad de 5 - 10 metros, mientras que los rotíferos fueron escasos, exceptuando el género *Keratella*. La distribución del género Cyclopoida (Figura 8), se presentó constante en la columna de agua, mostrando una agrupación a las 05:00 horas entre 0 - 20 metros y luego a las 08:00 y 12:00 en la cual los organismos se presentaron mayores agrupaciones a partir de los 5 y 10 metros, observando cambios evidentes debido a la intensidad de luz en la columna de agua, puesto que los ojos de estos organismos son poco desarrollados, la luz influencia en su dieta y comportamiento (Leising & Franks, 2000). A medida que el sol alcanza su punto más alto al medio día, se evidenció una evasión de la superficie y luego una distribución más constante a las 19:00 horas; posteriormente se observa una preferencia por la superficie a las 22:00 horas en Santiago Atitlán, pero en el punto de Panajachel se encuentran agrupados en dos parches debido posiblemente al beneficio térmico obtenido y/o a la depredación, que son los dos factores que más influyen en este comportamiento.

La taxa *Calanoida* (Figura 9), muestra agrupaciones en parches y con una afición por las superficies de 5 y 15 metros. La distribución de estos organismos se ve afectada por la búsqueda de alimento, principalmente rotíferos (García et al., 2007), por lo que, se puede evidenciar una preferencia a estas profundidades.

La conducta de la taxa *Ceriodaphnia* muestra predilección a encontrar mayor proporción a profundidades entre 0 - 5 metros, sin embargo, también se pueden encontrar en profundidades de 20 - 25 metros en menor abundancia disminuyendo hasta alcanzar los 30 metros (Figura 10). Kerfoot (1988), menciona que la conducta y abundancia de esta taxa es alterada por la competencia entre ellos, sino también por su distribución dentro de la misma población zooplanctónica debido a la selectividad de la depredación que esta taxa presenta. Además, menciona que su migración está influenciada por la luz diurna y nocturna y las modificaciones en los gradientes de temperatura que estos cambios provocan.

Al igual que el género anteriormente mencionado, se puede observar que *Daphnia* también presentó afinidad por la superficie (Figura 11), notando un cambio en el punto de Santiago a las 08:00 y 12:00 por la intensidad lumínica lo cual es un factor regulador en el comportamiento de cladoceros (Murtavyh, 1985). Por otra parte, los parches encontrados en Panajachel posiblemente se deben a depredación y/o tendencias de agrupación que presentan estos organismos al alimentarse o bien como método de defensa ante depredadores (Bernardi et al., 1987).

El género *Bosmina*, fue encontrado en menor frecuencia de los cladoceros, este presentó una preferencia de distribución en rangos de profundidad de 0 - 5 m y 15 m, correspondientes a los tiempos de muestreo de las 5:00 am y 8:00 am, donde se identificó un comportamiento distinto al comparar ambos sitios de muestreo ya que en el punto de Panajachel se encontró mayor número de organismos a tempranas horas 05:00 y 08:00 horas. A diferencia del sitio de Santiago donde el mayor número de organismos se encontró a las 22:00 horas (Figura 12), esta distribución se debe principalmente a la depredación de estos organismos quienes dentro de esta taxa son los más susceptibles (Brooks & Dodson, 1965).

Dentro de los rotíferos, la taxa que presentó mayor abundancia fue *Keratella*, esto debido a que uno de los mecanismos más comunes de defensa contra depredación es el desarrollo de espinas en presencia de infoquímicos de los depredadores. Por lo que especies de rotíferos que poseen estructuras externas desarrolladas como espinas o lóricas, son menos susceptibles a ser depredadas (Brandl, 2005). Además, este es uno de los géneros que presenta mayor velocidad

de nado en esta taxa (Gilbert & Bogdan, 1984). Por lo que la distribución no se vio afectada y se mantuvo entre 0 – 15 metros en la columna de agua (Figura 13). También se menciona la utilización de este organismo como indicador de contaminación por ser altamente susceptible a al mismo (Sládecek, 1983).

Brachionus es un organismo que se identificó únicamente en una ocasión en el punto de Panajachel a 0 metros, mientras que en el punto de Santiago se evidencia una preferencia de este organismo a 15 m de profundidad debido a que estos rotíferos son una presa frecuente de los copepodos (Figura 14). Matsumura-Tundisi y colaboradores (1990), evaluaron la tasa de depredación de copepodos y los resultados revelaron que frente a presas como *Brachionus*, *Ceriodaphnia* y otros géneros, los depredadores escogieron con mayor frecuencia a *Brachionus*, debido a su tamaño y el movimiento constante de la corona ciliar que resulta atractivo para ellos. Este comportamiento de los depredadores explica la ausencia de este género en Panajachel y por qué se mantiene a una profundidad constante en Santiago, para evitar la depredación y debido también a su movilidad restringida y menor tamaño, lo cual los hace un alimento preferido por copepodos (García et al., 2007).

Al igual que el rotífero anterior, *Asplanchna* se presentó con poca abundancia en el punto evaluado en Panajachel, pero en Santiago, se presentó con preferencia entre 0-10 m únicamente con la diferenciación de que estos organismos encontrados en Santiago eran de menor tamaño y poco frecuentes luego de 20 metros (Figura 15).

6.3 Relación entre el ensamble zooplanctónico y los parámetros fisicoquímicos

Al establecer la relación de los factores ambientales en el comportamiento migratorio y las densidades de organismos presentes en la columna de agua, se realizó un análisis de correspondencia canónica, evaluando así la influencia de los parámetros tomados con los organismos.

La conductividad, es un indicador que evidenció la afinidad de los rotíferos: *Brachionus* y *Keratella*, cladoceros: *Daphnia* y *Bosmina*, el copepodo del género Calanoida y en menor

influencia con el género *Cyclopoida*; ya que este último mostró una afinidad por valores de oxígeno y temperaturas bajas, así como valores de pH más ácidos, sitios por lo general con mayor profundidad y con poca incidencia lumínica, según Villabona y colaboradores (2014), estas condiciones favorecen la presencia de estos grupos debido a que en la superficie el exceso de luz y radiación solar puede afectarlos negativamente, ya que allí pueden ser fácilmente visualizados por los depredadores, como también algunas especies se ven afectadas fisiológicamente por el exceso de radiación, demostrando que la distribución vertical de la biomasa de estos grupos de zooplancton se presenta en función de su evasión de los depredadores potenciales y de ocupación de un ambiente físico y químico más favorable (Figura 16).

Por otra parte, el género *Ceriodaphnia* se encontró asociado a sitios con mayor oxígeno, temperaturas más bajas y valores de pH más básicos. Bernardi y colaboradores (1987), indica que los cladoceros presentan una afición por aguas con valores altos de oxígeno. Otros grupos de organismos como los nauplios y el género *Asplanchna* se encontraron asociados a los sitios con menores concentraciones de oxígeno, temperaturas más bajas y valores de pH más ácidos.

En el punto de Santiago podemos correlacionar los géneros *Cyclopoida*, *Ceriodaphnia* y *Nauplio* con la conductividad, estos grupos suelen ser muy exitosos y dominantes debido a diferentes adaptaciones ecológicas, ecofisiológicas y de comportamiento en términos de su crecimiento y estrategias de alimentación y reproducción, lo cual les permite ocupar diversos hábitats y niveles tróficos (Gaona, 2019). Por otro lado, las variables oxígeno, temperatura y el pH se relacionaron con *Calanoida* y *Daphnia* en mayor afinidad que con las otras especies (Figura 17).

7. Conclusiones

1. El ensamble zooplanctónico del lago Atitlán estuvo compuesto principalmente por copepodos: Cyclopoida, Calanoida y estadios naupleares (71%), cladoceros: *Ceriodaphnia*, *Daphnia* y *Bosmina* (19%) y rotíferos: *Keratella*, *Brachionus* y *Asplanchna* (10%). Exponiendo que se encuentra una mayor abundancia en el punto de Santiago y una menor abundancia en el punto de Panajachel, coincidiendo con valores altos de oxígeno en el punto de Santiago, donde se encontraron relaciones de estos organismos con el oxígeno y temperatura.
2. Los tres grupos estudiados se distribuyeron de forma constante en la columna de agua, con variaciones durante el transcurso del ciclo lumínico, mayor mente agrupados en la superficie durante la noche y descendiendo posteriormente durante el día. Por lo cual se identificó una migración vertical del tipo normal.
3. Los parámetros fisicoquímicos no fueron un indicador de la abundancia como tal, sin embargo, en su relación ecológica si influyen en los taxa, estos enfatizan la afinidad de los cladoceros por sitios con mayor disponibilidad de oxígeno y valores de pH más básicos. Mientras que los rotíferos predominaron en sitios con niveles bajos de oxígeno y temperatura; por lo que el punto de Santiago tuvo mayor abundancia de taxa y mayor nivel de oxígeno que el punto de Panajachel.

8. Recomendaciones

1. Evaluar la respuesta a la luz nocturna proveniente de la luna y otras condiciones meteorológicas, para poder completar el ciclo de comportamiento de los organismos de estudio, esto con el fin de poder tener una relación más amplia del efecto lumínico sobre el comportamiento migratorio de las distintas taxa de zooplancton.
2. Aumentar la frecuencia y las áreas de muestreo, para establecer migraciones dominantes y el comportamiento del ensamble en el cuerpo de agua, comprendiendo la amplitud del comportamiento del ensamble zooplanctónico en las distintas áreas del lago Atitlán.
3. Correlacionar el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica con el de la zooplanctónica, para conocer así la interacción entre estos organismos, con el fin de lograr entender las distintas dinámicas que se desarrollan entre estos organismos y lograr identificar correlaciones entre ambos grupos.
4. Identificar la fuente principal de ausencia de la comunidad zooplanctónica, si es depredación por otros grupos zooplanctónicos o bien por peces planctívoros, entendiendo la importancia de estos y que la movilización de estos en la columna de agua hará que sus depredadores realicen también dicho desplazamiento.

9. Referencias bibliográficas

1. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Quality Permit Program (Wpcf). (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. España: Ediciones Díaz de Santos.
2. Angino, E., Armitage, K., & Saxera, B. (1973). Population dynamics of pond zooplankton II: *Daphnia Ambiguin* Scourfield. *Hydrobiology*, 42, 491-507.
3. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Atitlán y su entorno (AMSCCLAE). (2015). *Informe anual: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Atitlán y su entorno / Monitoreo de caudales*. Guatemala: Autor.
4. Azurdia, I. (2014). *Estado actual del lago de Atitlán: Memorias, I Simposio de investigaciones científicas y tecnológicas en la cuenca del lago Atitlán*. Panajachel, Sololá, Guatemala: AMSCLAE.
5. Behn, P., & Boumans, R. (2001). Modelling herbivorous consumer consumption in the Great Bay Estuary, New Hampshire. *Ecological Modelling*, 143, 71-94.
6. Bernardi, R., Giussani, G., & Manca, M. (1987). cladocera: Predators and prey. *Hydrobiology*, 145 (1), 225–243.
7. Berzins, B., & Pejler, B. (1989). Rotifer occurrence in relation to oxygen content. *Hydrobiology*, 183, 165-172.
8. Brand, Z. (2005). Freshwater copepods and rotifers: Predators and their prey. *Hydrobiology*, 546, 475-489.
9. Brooks, L., & Dodson, S. (1965). Predation, body size, and composition of plankton. *Science*, 150, 28-35.
10. Castellanos, E., & Dix, M. (2009). *Levantamiento de la línea base del lago de Atitlán marzo de 2009, presentado al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales República de Guatemala*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala (UVG).
11. Castro, P., & Huber, M. (2005). *Marine biology*. New York: McGraw-Hill.
12. Colomer, M. (2001). Las comunidades de zooplancton de los embalses españoles: Ecosistemas. *Revista de Ecología y Medio Ambiente*, 10, 1-14.



13. Conde, J., Ramos, E., & Morales, R. (2004) El zooplancton como integrante en la estructura trófica de los sistemas acuáticos lénticos [en línea]. *Ecosistemas*, 2004 (2). Recuperado febrero 5, 2018, de <http://www.aet.org/ecosistemas/042/investigacion3.htm>
14. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (2007). *Plan maestro de la reserva de uso múltiple cuenca del lago de Atitlán 2007-2011* [en línea]. Recuperado febrero 5, 2018, de <http://www.conap.gob.gt/Members/admin/documentos/documentoscentro-de-documentacion/planes-maestros/Plan-Maestro%20C%20ATITLAN.pdf>.
15. Contreras, F. (1994). *Manual de técnicas hidrobiológicas*. México: Trillas.
16. Deevey, E. (1957). Limnologic studies in Middle America. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 39, 213-328.
17. De León, A., & Reyes, E. (2017). *Migración vertical de fitoplancton en el lago de Atitlán, Guatemala*. Guatemala: Departamento de Investigación y Calidad Ambiental, AMSCLAE.
18. Downing, J. (1984). *The assessment of secondary production: A manual of methods for the assessment of secondary productivity in freshwaters*. Estados Unidos: Blackwell Scientific Publishers.
19. Galbraith, M., & Schneider, J. (2000). *Manual of fisheries survey methods II: With periodic updates / Fisheries Special Report*. United States: Michigan Department of Natural Resources, Ann Arbor.
20. Gannon, E., & Stemberger, S. (1978). Zooplankton as indicators of water quality. *American Microstructure Society*, 97 (1), 16-25.
21. Gaona, A. (2019). *Estructura de la comunidad de copepodos calanoides en dos zonas contrastantes del golfo de México, en función de condiciones oceanográficas*. México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
22. García, L., Chicote, J., Rojo, C., & Rodrigo, M. (2007). Alimentación de *Acanthocyclops robustus*: Un caso de canibalismo. *Limnetica*, 2 (26), 265-276.
23. Gilbert, J., & Bogdan, K. (1984). *Rotifer grazing: In situ studies on selectivity and rates*. Estados Unidos: Westview Press.



24. Gutiérrez, M., Jerónimo, F., Ivanova, N., Valdez-moreno, M., & Hebert, P. (2008). DNA Barcodes for Cladocera and Copepoda from Mexico and Guatemala, highlights and new discoveries. *Zootaxa*, 42, 1–42.
25. Gutierrez, E, Suarez, E, Gutierrez, M, Briano, S, Granados, J., & Garfias, T. (2008). *Cladocera y Copepoda de las aguas continentales de México*. México: Comisión Nacional para la Biodiversidad, y Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala.
26. Hoxmeier, R., & Wahl, D. (2004). Growth and survival of larval Walleyes in response to prey availability. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133, 45-54.
27. Juday, C. (1915). Limnological studies on some lakes in Central America. *Wisconsin Academy of Sciences, Arts, and Letters*, 18, 214-250.
28. Kumari, P., Dhadse, S., Chaudhari, P., & Wate, S. (2007). Bioindicators of pollution in lentic water bodies of Nagpur city. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 49 (4), 317-324.
29. Leising, A., & Franks, P. (2000). Copepod vertical distribution within a spatially variable food source: A simple foraging-strategy model. *Journal of Plankton Research*, 22 (6), 999–1024.
30. Marneffe, Y., Comblin, S., & Thomé, J. (1998). Ecological water quality assessment of the Bûtgenbachlake (Belgium) and its impact on the river Warche using rotifers as bioindicators. *Hydrobiologia*, 387, 459-467.
31. Martínez, M. (2018). *Relación del fitoplancton y el zooplancton en los sitios de Santiago Atilán y Centro Weiss G del lago de Atilán durante los años 2013 y 2014*. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
32. Martinez, M., Tuyas, L., Martinez, R., Perez, A., & Canovas, A. (2009). El coeficiente de correlacion de los rangos de Spearman [en línea]. Recuperado febrero 8, 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es
33. Martínez, M., Ochaeta, G., & Dix, M. (2014) *Relación de la población de fitoplancton y zooplancton en tres sitios del lago Atilán: Memorias I Simposio de investigaciones científicas y tecnológicas en la cuenca del lago Atilán*. Panajachel. Sololá. Guatemala: UVG.



34. Matthias, J. (1971). Energy flow and secondary production of amphipods *Hyallela azteca* and *Crangonyx richmondensis accidentalis* in Marion Lake, British Columbia. *Journal of fisheries research Board Canada*, 20, 711-721.
35. Matsumura-Tundisi, T., Rietzler, A., Espíndola, E., Tundisi, J., & Rocha, O. (1990). Predation on *Ceriodaphnia cornuta* and *Brachionus calyciflorus* by two *Mesocyclops* species coexisting in Barra Bonita reservoir (SP, Brazil). *Hydrobiologia*, 198, 141-151.
36. Meek, S. E. (1908). The zoölogy of lakes Amatitlán and Atitlan, Guatemala, with special reference to ichthyology. *Field Columbian Museum. Zoological series*, 7 (6).
37. Murtavyh, P. A. (1985). Vertical distribution of zooplankton and population dynamics of *Daphnia* in Meromictic Lake. *Hydrobiologia*, 123, 47-57.
38. Mwebaza-Ndawula, L. (1994). Changes in relative abundance of zooplankton in northern lake Victoria, East Africa. *Hydrobiology*, 272, 259-264.
39. Nogrady, T., & Segers, H. (2002). *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the World Coordinating*. Holanda: Backhuys Publishers.
40. Ogari, J., & Dadzie, S. (1988). The food of the Nile perch *Latesniloticus* after the disappearance of the haplochromine cichlids in the Nyanza Gulf of lake Victoria. *Journal of Fisheries Biology*, 32, 571-577.
41. Ohman, M. (1990). The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. *Ecological Monographs*, 60 (3), 257-281.
42. Pandit, A. (1980). *Biotic factor and food chain structure in some typical wetlands of Kashmir*. Ph. D. Thesis. India: University of Kashmir.
43. Reyes, C. (1982). *Bioestadística aplicada*. México: Trillas.
44. Rodier, J. 1981. *Análisis de las aguas: Aguas naturales, aguas residuales y aguas de mar*. Barcelona: Ediciones Omega.
45. Rodriguez, M. (2016). Composición de zooplancton en laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa [en línea] Recuperado febrero 8, 2018, de <https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/revistaERIS/index.php/2016/04/18/composicion-de-zooplancton-en-la-laguna-el-pino-barberena-santa-rosa/>
46. Sharma, V., Sharma, M., Malara, H., Sharma, R., & Brijraj, S. (2008). *Trophic status and zooplankton diversity of lake Jaisamand in relation to its physicochemical characteristics*. India: University of Kashmir.



47. Sládeček, V. (1983). Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 100, 169- 201.
48. Sokal, R., & Rohlf, F. (1980). *Introducción a la bioestadística*. Barcelona: Reverté.
49. Steel, R., & Torrie, J. (1988). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. México: McGraw-Hill.
50. Torres, R., & Estrada, M. (1990). Patrones de migración vertical en el plancton de un lago tropical. *Hidrobiologica*, 7, 33-40.
51. Villabona, S., Gavilan, R., & Estrada, A. (2014). Cambios nictemerales en la distribución vertical de algunos microcrustáceos en un lago artificial del neotrópico (Colombia). *Limnetica*, 26 (1), 75-88.
52. Weiss, C. M. (1971). *Water quality investigations in Guatemala, lake Atitlan: 1968- 1970*. Estados Unidos: University of North Carolina and ERIS.
53. Witty, L. (2004). *Practical guide to identifying freshwater crustacean*. Canadá: Zooplankton Cooperative Freshwater Ecology.
54. Wright, D., & O'Brien, W. (1984). Model analysis of the feeding ecology of freshwater planktivorous fish. *Ecological Monographs*, 54 (1), 65-98.



10. Anexo



Anexo 1. Copepodos, (Nauplio, Calanoida y Cyclopoida).



Anexo 2. Cladoceros (Bosmina, Daphnia y Ceriodaphnia).



Anexo 3. Rotíferos (Keratella, Brachionus y Asplanchna)

	Santiago		Panajachel	
	Inicial	Final	Inicial	Final
08:00	7.10 m	6.90 m	11.50 m	12.50 m
12:00	4.60 m	4.70 m	11.40 m	7.50 m
14:00	5.10 m	6.00 m	6.20 m	8.00 m

Anexo 4. Medición de transparencia con Disco Secchi.

	Copépodos			Cladoceros			Rotíferos		
	<i>Cyclopoida</i>	<i>Calanoida</i>	<i>Nauplio</i>	<i>Ceriodaphnia</i>	<i>Daphnia</i>	<i>Bosmina</i>	<i>Keratella</i>	<i>Brachionus</i>	<i>Asplanchna</i>
5:00 – 0 m	3.86	1.48	7.13	6.23	7.72	3.27	2.67	0.30	
5:00 – 5 m	2.91	1.57	7.61	16.35	1.34	3.36	2.46		
5:00 – 10 m	2.12		4.24	5.78			1.35		
5:00 – 15 m	1.60	1.83	7.79	6.88		3.44	3.44		
5:00 – 20 m	2.52	1.15	20.17	3.21		2.75	8.02		
5:00 – 25 m	0.33	3.33	4.00	1.50	0.50	1.33	0.33		
5:00 – 30 m		2.67	3.67	2.33	0.67	0.33	0.33		
8:00 – 0 m	0.26	1.30	6.77	5.21		0.52	2.34		
8:00 – 5 m	1.71	1.28	7.05	14.09		1.07	3.20		
8:00 – 10 m	2.63	0.66	7.22	12.47		0.22	3.50		
8:00 – 15 m	2.14	1.07	9.40	2.99		1.49	3.42		
8:00 – 20 m	3.96	2.92	18.13	1.88	0.42	0.83	1.88		
8:00 – 25 m	6.95	3.83	17.73	3.11	0.72	1.20	2.64		
8:00 – 30 m	1.77	2.66	4.96	0.53	0.35		0.35		
12:00 – 0 m	0.17		0.17	0.17		0.17	0.33		
12:00 – 5 m	1.12	1.12	4.48	15.45	0.22	0.22	8.96		0.22
12:00 – 10 m	2.34		11.48	10.78		0.23	7.50		
12:00 – 15 m	4.85	2.04	30.88	6.13		0.26	6.38		
12:00 – 20 m	6.19	0.85	21.78	3.42	0.21	0.43	1.28		
12:00 – 25 m	4.35		14.21	0.46	0.23	0.23	1.15		
12:00 – 30 m	2.58	0.23	6.56	0.23	0.70		0.23		
16:00 – 0 m	16.33	1.53	13.53	44.15		0.26	9.95		
16:00 – 5 m	14.61		16.90	42.11	0.29		12.89		

16:00 – 10 m	16.27	0.69	24.52	22.00	1.15		8.48		
16:00 – 15 m	4.45	0.30	16.33	7.13	0.30		4.16		
16:00 – 20 m	5.08		6.67	1.91	0.32		0.64		
16:00 – 25 m	6.71	0.58	8.17	3.21	1.17		1.46		
16:00 – 30 m	5.05		5.05	0.30	0.30		0.30		0.30
19:00 – 0 m	6.45	0.92	4.92	29.50	0.31		6.76		
19:00 – 5 m	10.57	1.60	8.65	64.70	0.64		6.73		
19:00 – 10 m	9.38	0.78	20.57	28.13	0.52		7.29		
19:00 – 15 m	4.43	1.56	27.34	8.33	0.78	0.26	10.94		
19:00 – 20 m	2.94	2.65	18.83	3.24	2.06	0.29	1.77		
19:00 – 25 m	3.84	0.85	23.06	9.82	0.43		2.99		0.43
19:00 – 30 m	5.25	1.13	11.63	3.38			1.13		
22:00 – 0 m	6.25	3.75	11.56	60.00	0.63		3.75		
22:00 – 5 m	7.79	4.40	13.54	84.30			4.74		
22:00 – 10 m	5.31	0.71	8.85	23.38	0.35		6.73		
22:00 – 15 m	1.08	0.36	8.63	6.83	0.72		1.44		
22:00 – 20 m	5.55	3.70	15.16	6.29		0.37	3.70		
22:00 – 25 m	3.72	0.34	2.37	3.05			1.02		
22:00 – 30 m	0.56	0.56	0.56	1.69			0.28		

Anexo 5. Presencia de las taxas por hora y profundidad en el punto de Panajachel en organismos por litro

	<i>Copépodos</i>		Cladoceros			Rotíferos			
	<i>Cyclopoida</i>	<i>Calanoida</i>	<i>Nauplio</i>	<i>Ceriodaphnia</i>	<i>Daphnia</i>	<i>Bosmina</i>	<i>Keratella</i>	<i>Brachionus</i>	<i>Asplanchna</i>
5:00 – 0 m	4.3	8.94	32.14	13.75	2.92	0.52	3.27	0.17	8.77
5:00 – 5 m	9.1	6.73	46.11	25.14	3.76	0.2	4.16		11.08
5:00 – 10 m	13.24	11.96	125.35	20.29	5.98		13.45	0.21	2.35
5:00 – 15 m	14.63	7.31	159.38	14.25	7.13		10.5	0.75	3.75
5:00 – 20 m	19.26	6.05	54.87	6.27	2.69		3.36	0.45	1.12
5:00 – 25 m	7.34	0.47	14.53	2.5			1.72		0.31
5:00 – 30 m	2.34	0.47	4.38	0.31	0.31		0.16		
8:00 – 0 m	0.16	0.16	2.74	0.16			0.48		
8:00 – 5 m	11.41	8.91	45	44.38	4.53	0.31	10.63		6.88

8:00 – 10 m	10	5	109.67	13.33	2	0.17	16.17	0.17	2.33
8:00 – 15 m	13.58	6.19	184.59	11.69	1.72		8.25	0.52	1.2
8:00 – 20 m	7.29	0.91	18.96	2.37	0.18		1.28		
8:00 – 25 m	3.94	0.75	6.94	0.56	0.19	0.19	0.19		
8:00 – 30 m	2.48	0.77	6.03	1.08	0.62		0.31		0.46
12:00 – 0 m	0.66	0.88	9.63	3.28	0.22		7.44		4.16
12:00 – 5 m	6.88	23.44	34.84	34.38	11.25		13.13		4.53
12:00 – 10 m	26.72	13.85	179.71	21.38	5.15	0.4	23.55	0.2	11.48
12:00 – 15 m	23.7	7.9	190.97	33.15	6.17	0.58	15.99	0.77	0.39
12:00 – 20 m	9.69	1.41	47.19	3.59	0.47	0.16	2.34	0.16	
12:00 – 25 m	6.2	1.06	12.57	1.24	0.18			0.35	0.35
12:00 – 30 m	2.58	0.17	5.16	0.69	0.34		0.17		
16:00 – 0 m	14.22	8.09	43.31	18.81	1.53		9.63		6.34
16:00 – 5 m	17.92	13.66	53.53	23.52	7.84	0.45	13.66		3.36
16:00 – 10 m	33	13.75	240.17	35.98	17.88	0.23	25.9	0.69	5.73
16:00 – 15 m	16.35	2.02	266.96	19.26	5.15	0.22	17.69	1.12	0.45
16:00 – 20 m	19.69	3.28	91.88	10.06	3.06		4.38	0.66	1.97
16:00 – 25 m	9.38	0.63	39.17	2.92	1.46		1.88	0.21	0.42
16:00 – 30 m	3.58	0.22	6.05	0.67			0.22		0.22
19:00 – 0 m	14.44	9.41	49.88	19.03	2.63		6.13		12.03
19:00 – 5 m	25.31	12.19	75.23	37.73	8.91	0.47	19.45	0.23	11.72
19:00 – 10 m	8.75	194.58	22.71	3.54	16.67	31.25	4.38	2.08	1.04
19:00 – 15 m	12.47	1.53	282.84	13.78	9.19		21	1.31	1.75
19:00 – 20 m	10.08	0.92	69.67	1.15	2.06		6.65	0.23	0.46
19:00 – 25 m	6.5		29.25	1.63	0.81		2.03		0.81
19:00 – 30 m	7.05	0.21	29.68	2.14	1.07		3.2		1.07
22:00 – 0 m	36.84	33.19	106.31	57.66	7.03	1.13	11.81	0.28	21.09
22:00 – 5 m	26.03	17.06	87.5	41.78	12.25	1.31	11.16		14.66
22:00 – 10 m	9.55	22.34	7.11	0.2	3.25	3.25	246.19	5.89	66.02
22:00 – 15 m	5.63	14.38	4.38	2.71	0.63		181.46	3.75	18.75
22:00 – 20 m	1.57	13.89	0.67	0.45	2.69	0.67	33.37		5.6
22:00 – 25 m	0.21	6.04	0.21		2.29	0.21	23.33		0.63
22:00 – 30 m	0.73		5.14	0.49	0.49		13.95		0.98

Anexo 6. Presencia de las taxas por hora y profundidad en el punto de Santiago Atitlán en organismos por litro.

Profundidad	Cyclopoida	Calanoida	Nauplio	<i>Ceriodaphnia</i>	<i>Daphnia</i>	<i>Bosmina</i>	<i>Keratella</i>	<i>Brachionus</i>	<i>Asplanchna</i>	OD	% OD	T °C	pH	Cond.
Pana 0	120	31	157	503	29	15	93	1	0	6.99	97.20	22.78	8.61	414.50
Pana 5	133	36	213	806	10	21	146	0	1	6.93	96.70	22.80	8.62	407.00
Pana 10	155	11	315	403	8	2	139	0	0	6.88	95.90	22.69	8.62	403.50
Pana 15	71	29	383	143	8	24	116	0	0	6.73	92.58	22.13	8.61	402.25
Pana 20	100	42	403	73	11	20	68	0	0	6.45	88.15	21.72	8.58	409.25
Pana 25	93	41	249	67	12	14	33	0	1	5.86	79.63	21.50	8.51	405.00
Pana 30	54	29	117	27	8	1	9	0	1	4.97	67.28	21.24	8.46	418.50
Sant 0	291	255	1052	474	62	7	170	2	229	8.05	112.92	22.93	8.57	496.00
Sant 5	470	432	1704	1088	249	13	368	1	261	7.94	112.25	23.33	8.55	497.17
Sant 10	591	293	5347	765	231	5	826	18	158	7.68	108.13	23.18	8.56	496.17
Sant 15	479	153	6271	537	172	4	452	23	57	7.04	98.70	22.92	8.55	496.67
Sant 20	385	63	1524	127	46	3	111	7	21	5.99	83.50	22.60	8.33	498.50
Sant 25	209	17	645	59	14	1	34	3	12	4.88	67.12	21.88	7.96	503.67
Sant 30	116	11	320	32	16	0	24	0	10	3.83	52.13	21.35	7.82	504.17

Anexo 7. Número de organismos encontrados agrupados por profundidad y parámetros promedios de cada profundidad.