

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

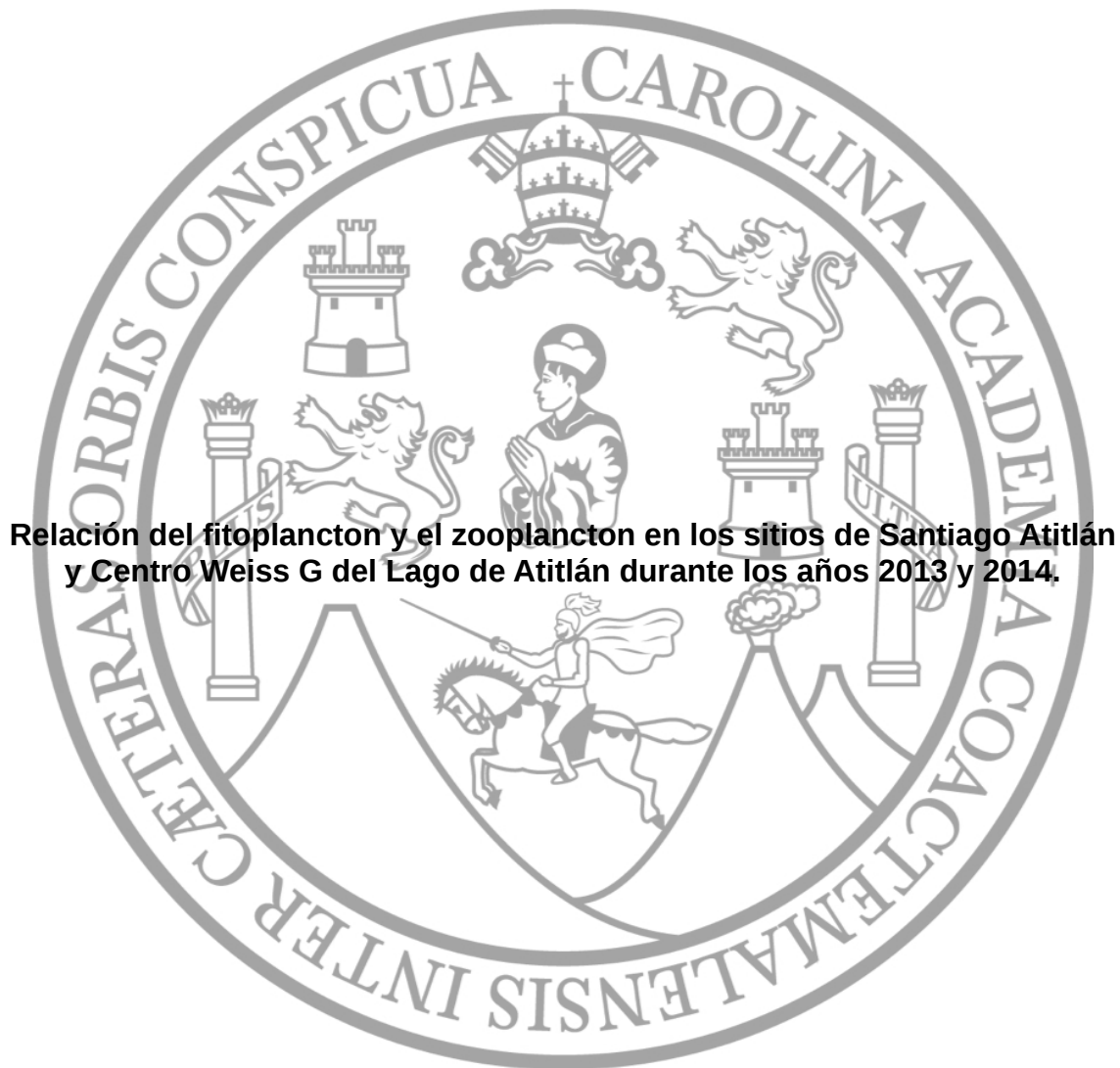


**Relación del fitoplancton y el zooplancton en los sitios de Santiago Atilán y Centro Weiss G del Lago de Atilán durante los años 2013 y 2014.**

Mónica María Martínez Fausto  
Bióloga

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



**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.**

Informe de Tesis

Presentado por

Mónica María Martínez Fausto

Para optar al título de

Bióloga

Guatemala, octubre de 2018

## **JUNTA DIRECTIVA**

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
Msc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

## DEDICATORIA

**A Dios** por haberme amado primero y por todas las bendiciones y dones recibidos.

**La Sagrada Familia** por ser ejemplo de vida y trazar el camino para alcanzar la santidad.

**A mis padres** por haberme dado la vida, sus consejos y haberme apoyado en todas las decisiones que he tomado, en especial respecto a mi profesión.

**A mis hermanos** por haberme acompañado durante toda su vida, especialmente por el apoyo brindado en este proceso; tomando en cuenta que aunque no entendían nada de lo que les decía, me escuchaban y trataban de ayudarme.

**Demás familia** por estar presentes en los momentos importantes de mi vida y por confiar en mis identificaciones aunque no muy les parezca.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Guatemala**, país rico en recursos naturales y diversidad biológica.

**A Universidad de San Carlos de Guatemala**, por ser mi Alma Máter.

**A Escuela de Biología**, que me brindó las herramientas necesarias para conservar los recursos de mi país.

**A la doctora Margaret Dix**, por todos los conocimientos compartidos, su apoyo y paciencia a lo largo de mi carrera.

**A Centro de Estudios Atitlán**, en especial al doctor Michael Dix por todo el apoyo brindado durante esta investigación.

**A mis mentoras**, Rosel, Normita y la doctora Dix quienes han compartido conmigo sus conocimientos del plancton y limnología durante toda mi formación.

**A mis amistades**, que me apoyaron y acompañaron de alguna u otra manera durante todo este proceso.

## INDICE

Resumen	3
1. Introducción	4
2. Antecedentes	6
2.1. Comunidad fitoplanctónica	6
2.2. Comunidad zooplanctónica	7
2.3. Reproducción zooplancton	8
2.4. Interacciones fitoplancton – zooplancton	8
2.5. Eutrofización	9
2.6. Lago de Atitlán	10
2.7. Estudios previos	11
3. Justificación	14
4. Objetivos	16
4.1. General	16
4.2. Específicos	16
5. Hipótesis	17
6. Materiales y métodos	18
6.1. Universo	18
6.1.1. Población	18
6.1.2. Muestra	18
6.2. Materiales	18
6.2.1. Equipo	18
6.2.2. Reactivos	18
6.2.3. Instrumentos	19
6.2.4. Recurso humano	19
6.3. Métodos	19
6.3.1. Fase de campo	19
6.3.2. Análisis de las muestras	19
6.3.3. Análisis estadístico	20

7. Resultados	22
7.1. Descripción de las comunidades	22
7.2. Épocas reproductivas del zooplancton	32
7.2.1. Rotifera	33
7.2.2. Cladocera	35
7.2.3. Copepoda	42
7.3. Análisis exploratorio de datos	44
7.3.1. Índice de Shannon	44
7.3.2. Números de Hill	47
7.4. Estructuras de las comunidades del fitoplancton y zooplancton	51
7.4.1. Análisis de componentes principales	53
7.4.2. Análisis de correspondencia canónica	57
7.5. Asociaciones entre el fitoplancton y el zooplancton	59
7.5.1. Correlación de abundancias	59
7.5.2. Correlación de biovolúmenes	62
7.5.3. Correlación con la reproducción del zooplancton	63
8. Discusión	65
8.1. Comunidades del fitoplancton y zooplanton	65
8.2. Épocas reproductivas del zooplancton	67
8.2.1. Rotifera	67
8.2.2. Cladocera	67
8.2.3. Copepoda	68
8.3. Análisis exploratorio de datos	68
8.4. Estructuras de las comunidades del fitoplancton y zooplancton	69
8.5. Asociaciones entre el fitoplancton y el zooplancton	74
9. Conclusiones	76
10. Recomendaciones	78
11. Referencias	79
12. Anexos	84

## RESUMEN

La eutrofización del Lago de Atitlán se ha vuelto visible debido a los florecimientos ocurridos en la última década, indicando un cambio en la ecología del lago. También se ha observado una disminución en la cantidad y tamaño de los peces. Para tener un mejor panorama de estos cambios, es necesario saber la dinámica del zooplancton, información que aún no ha sido descrita. Debido a esto, se realizó un estudio del zooplancton de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán, analizando las muestras colectadas mensualmente durante los años 2013 y 2014 para describir la reproducción del zooplancton y la asociación entre las comunidades del zooplancton y fitoplancton.

Se describió la épocas reproductivas del zooplancton que presentaba embriones en el caso de los cladóceros y huevos en el caso de los rotíferos y copépodos. No se encontró correlación de estas con la riqueza del fitoplancton, solamente la correlación de Spearman entre la abundancia de *Cocconeis* y *Daphnia* con un valor de  $\rho$  de 0.59.

El análisis de correspondencia canónica muestra tres agrupaciones, de las cuales solo la agrupación de *Mougeotia*, *Didinium* y *Euchlanis* sobrepasa el 50%, indicando que hay otras variables que afectan más la estructura de las comunidades que ellas entre sí. El análisis de correlación múltiple de Spearman entre las abundancias del fitoplancton y zooplancton relaciona a *Staurastrum* con los copépodos Ciclopoida y Calanoida con un valor de  $\rho$  de 0.59. *Aulacoseira granulata* (forma espiral) con *Didinium* con un valor de  $\rho$  de 0.63 y *Vaginicola* con un valor de 0.61. Además se observó a un ciliado ingiriendo *Limnorphis robusta*, aunque esta asociación no está reflejada en el análisis. Estos resultados sugieren que debe estudiarse otras variables ambientales para explicar mejor las asociaciones que existen entre el zooplancton y el fitoplancton.



## I. INTRODUCCIÓN

El uso de la tierra y la eutrofización cultural se ha convertido en un problema primario de la calidad del agua en la mayoría de ecosistemas acuáticos (Rejmánková et al, 2011, p. 296). Los cambios de eutrofización acelerada en el Lago de Atitlán en la última década generada por la población de la cuenca ha causado preocupación por sus impactos económicos y alimentarios. Dicha eutrofización ha provocado un cambio en el fitoplancton, productor importante del lago. Dicha eutrofización ha provocado un cambio en el fitoplancton, los productores importantes del lago, y este cambio ha disminuido la cantidad de cangrejos y peces, los consumidores secundarios. Hasta el momento, se tiene muy poco conocimiento de la dinámica lacustre del zooplancton, consumidores primarios, y sus relaciones con otras comunidades en las redes tróficas del Lago de Atitlán.

El zooplancton es un grupo importante a nivel ecológico por su función en la red trófica. Se alimenta del fitoplancton y el forrajeo selectivo causa un cambio en la estructura de la comunidad (Wetzel, 2001, p.368; Roldán y Ramírez, 2008, p.306). Además es alimento de otros organismos como peces, caracoles y cangrejos, influyendo su distribución y abundancia espacial y temporal (Wetzel, 2001, p.461; Chandra, y otros, 2013, p.4). El zooplancton ha sido utilizado como bioindicador para evaluar la calidad del agua. Su potencial es muy alto debido a que su crecimiento y distribución depende de algunos parámetros bióticos y abióticos (Ferdous y Muktedir, 2009). Por esto es necesario describir las dinámicas del zooplancton, incluyendo sus fluctuaciones e interacciones con el fitoplancton.

El objetivo principal de este estudio es caracterizar la relación del fitoplancton y el zooplancton en los sitios de Santiago Atitlán y Centro Weiss G del Lago de Atitlán durante los años 2013 y 2014. Para esto se analizaron las muestras de la columna

de agua (0 a 20m de profundidad) que fueron colectadas mensualmente con la red de plancton para describir la composición, el biovolumen y la reproducción. Se evaluó la composición, abundancia y biovolumen del zooplancton con la composición, abundancias y biovolumen del fitoplancton de ambos sitios para determinar si existe alguna relación entre ellos. Se identificaron las épocas reproductivas de cada taxón comparando las abundancias de los organismos que presentan huevos, embriones o nauplios en el caso de los copépodos, con la abundancia y riqueza del fitoplancton.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Comunidad fitoplanctónica

Organismos productores primarios planctónicos reciben el nombre de fitoplancton. La mayoría son organismos microscópicos que flotan en el agua a merced de su movimiento por el viento y las corrientes en la zona fótica; de ahí el significado de la palabra plancton: errante. Habitan las aguas abiertas (zona limnética) de los sistemas lénticos, en la zona pelágica del mar, o en los ríos (Roldán y Ramírez, 2008, p. 258; Wetzel, 2001, p. 331). El fitoplancton de los medios marinos y de agua dulce está conformado por un elevado número de especies que utilizan un fondo común de nutrientes y realizan fotosíntesis en un medio relativamente no estructurado (Roldán y Ramírez, 2008, p. 258). Muchas de estas formas tienen diferentes requerimientos fisiológicos y varían en respuesta a parámetros físicos y químicos como luz, temperatura y nutrientes (Wetzel, 2001, p. 331). Las cianobacterias fotosintéticas, constituyen un componente relevante del fitoplancton y se relacionan funcionalmente de manera similar a las algas planctónicas (Wetzel, 2001, p. 331-332).

Una de las características de las comunidades fitoplanctónicas que resalta es la coexistencia de las especies. En algunos casos, se encuentra que una especie está en una mayor abundancia que las otras; más ocasionalmente dos o más especies son codominantes en el ensamble fitoplanctónico. Un gran número de especies raras se puede encontrar siempre entre las algas dominantes o subdominantes. Las algas co-existen a pesar de que cada especie tiene un nicho específico basado en sus requerimientos fisiológicos y la restricción del ambiente. Teóricamente, un traslape de nicho puede llevar a una exclusión competitiva y resultar en la dominancia de una sola especie. A este problema se le llama la paradoja del plancton propuesta por Hutchinson en 1961. Aparentemente un equilibrio multiespecífico en lugar de uniespecífico ocurre en lo que parecen ser

condiciones físicas uniformes (Wetzel, 2001, p. 340).

## 2.2. Comunidad zooplanctónica

El zooplancton se distribuye en lagos y reservorios, incluye a todos los organismos microscópicos heterotróficos que flotan en el agua, están a la deriva o nadan débilmente (Thorp y Covich, 2001, p.19). Constituye una parte esencial en la alimentación de peces y macroinvertebrados acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008, p.306). El zooplancton está dominado por cuatro grupos principales: protistas que incluyen protozoos y flagelados heterotróficos, los rotíferos y dos subclases de Crustacea: Cladocera y Copepoda (Wetzel, 2001, p. 396; Roldán y Ramírez, 2008, p. 301).

La mayoría son móviles y las especies tienen diferentes preferencias de hábitat que acentúan la heterogeneidad espacial y temporal. La distribución de los invertebrados está influenciada por interacciones entre factores físicos, químicos y biológicos (Thorp y Covich, 2001, p.19). El desplazamiento de estos organismos depende de las corrientes, aunque algunos predadores son nadadores activos (Thorp y Covich, 2001, p. 35; Roldán y Ramírez, 2008, p. 301). Su distribución vertical y horizontal puede ser variable durante el día (Thorp y Covich, 2001, p.35). Se ha observado a la migración vertical diaria, en un período de 24 horas, en la columna de agua como una medida adaptativa para evitar la predación, ya que durante el día, la población del zooplancton tiene una presión selectiva intensa al ser visible para los predadores (Zaret y Suffern, 1976, p.812). Esto puede ser causado por reacción a la luz y por mediación química relacionado a los predadores (Smith, 2001, p. 468). Algunos creen que también es una evasión de la luz ultravioleta intensa que puede dañar el ADN de los organismos (Williamson et al, 2010, p. 1610).

También hay estudios que apoyan la hipótesis que la temperatura también es un

factor importante (Loose y Dawidowicz, 1994, p. 2262). Constituye una parte esencial en la alimentación de peces, moluscos, crustáceos y demás animales acuáticos. Lagos con alta densidad de peces zooplánctofagos poseen cantidades bajas de *Daphnia*, ya que constituye el alimento principal de su dieta; en cambio se observa un dominio de otras formas de zoopláncton más pequeñas como *Bosmina*, *Ceriodaphnia* y *Chydorus* (Roldán y Ramírez, 2008, p. 306).

### 2.3. Reproducción del zoopláncton

El proceso de reproducción de los rotíferos y cladóceros es muy similar. Por muchas generaciones, durante la temporada principal de reproducción, los machos están ausentes y las hembras (diploides) se reproducen por partenogénesis. Bajo condiciones de estrés ambiental, se desarrollan los machos, ocurre la meiosis y se forman huevos mícticos haploides. Si son fertilizados, los huevos diploides forman una pared celular gruesa y se vuelven resistentes a extremos ambientales. Estos pueden pasar largos períodos hasta que, cuando regresan las condiciones ambientales favorables, eclosionan hembras diploides. A diferencia de los rotíferos y cladóceros, los copépodos siempre son bisexuales (Wetzel, 2001, p. 428-429).

El período de vida de los rotíferos y cladóceros es corto, de pocos días o semanas. En cambio, los copépodos viven más tiempo, de semanas a meses, y poseen mayor poder de locomoción, lo que se manifiesta en sus migraciones verticales al ritmo de la luz y la oscuridad. En los copépodos, las larvas son muy diferentes de los adultos, por lo que cambia considerablemente, tanto su morfología como su régimen alimenticio. Por lo regular, las formas jóvenes son micrófagas; en cambio, los adultos tienen hábitos depredadores (Roldán y Ramírez, 2008, p. 301).

### 2.4. Interacciones fitoplancton – zoopláncton

La riqueza de especies del zoopláncton y su abundancia en los ecosistemas

naturales es menor en comparación del fitoplancton (Roldán y Ramírez, 2008, p. 301). Los organismos del zooplancton están especializados en herbivoría y son predadores importantes en los ecosistemas acuáticos, por lo que el aumento o disminución de biomasa de un lago y las alteraciones de oxígeno disuelto y pH están en relación directa con estos fenómenos de depredación (Roldán y Ramírez, 2008, p. 306; Wetzel, 2001, p. 369). El consumo directo del fitoplancton y bacterioplancton por el zooplancton puede modificar la estructura del ensamble fitoplanctónico por medio del consumo diferencial de algunas especies que le son más fáciles de ingerir por su tamaño y forma. A través del forrajeo selectivo, el zooplancton puede también influenciar la sucesión estacional del fitoplancton (Wetzel, 2001, p.368; Roldán y Ramírez, 2008, p. 306).

En general, las cianobacterias no son ingeridas por el zooplancton, por lo que estas poblaciones no son usualmente controladas por el pastoreo (Wetzel, 2001, p. 368; Roldán y Ramírez, 2008, p. 306). La productividad primaria tiene una correlación inversa con la riqueza de crustáceos zooplanctónicos (Dodson et al, 2000, p. 2662). El forrajeo del zooplancton herbívoro es un indicador del estado trófico del lago, ya que la tasa de herbivoría disminuye cuando aumenta el nivel trófico (Haberman y Haldna, 2014, p. 61).

## 2.5. Eutrofización

Es el proceso de un aumento de la productividad en los cuerpos de agua (Wetzel, 2001, p. 274). Ocurre normalmente, pero se ve acelerado por medio de algún tipo de actividad humana (Roldán y Ramírez, 2008, p. 123, 139). Estos procesos resultan en un aumento en la entrada de nutrientes, principalmente el nitrógeno y fósforo, que llegan al cuerpo de agua por la contaminación orgánica, industrial y agrícola (Roldán y Ramírez, 2008, p. 240). Este problema es más agudo en los trópicos donde temperaturas medianas a altas prevalecen a lo largo del año, por lo que los nutrientes son utilizados por las algas y plantas acuáticas de forma

permanente (Roldán y Ramírez, 2008, p. 240). Ocasiona el aumento de la producción en términos de biomasa, disminución de diversidad de especies, fuertes fluctuaciones de oxígeno disuelto, dióxido de carbono y pH en el ciclo día-noche, alta demanda bioquímica de oxígeno en el fondo y aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz y exceden la capacidad de herbivoría. Cuando la vegetación muere, aumenta la materia orgánica en descomposición y podría llevar al lago a una distrofia o su desaparición (Roldán y Ramírez, 2008, p. 139, 356).

## 2.6. Lago de Atitlán

El Lago de Atitlán situado en Sololá, Guatemala, a 1,565 metros sobre el nivel del mar (msnm), es de origen volcánico y se encuentra dentro de una caldera de aproximadamente 85,000 años de edad. Está dominado por tres volcanes: el volcán San Pedro al sur-oeste, los volcanes Tolimán y Atitlán al sur con elevaciones de 2,995m, 3,158m y 3,587m respectivamente; al norte, la montaña divisoria María Tecún con elevación de 3,403m; y al oeste están los restos de los volcanes Paquisís, Tecolote y San Marcos (Dix y otros, 2003, p.83).

El Lago de Atitlán se encuentra dentro de la Reserva de Uso Múltiple La Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA), nombrada así desde 1997 mediante el Decreto 64-97. La entidad rectora es la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE). La cuenca tiene un área total de 546.03 km<sup>2</sup>, con 414 km<sup>2</sup> de área de drenaje y 125 km<sup>2</sup> de espejo de agua (Reyes et al, 2018, p. 54). El volumen de agua es de 25.46 km<sup>3</sup>, con una profundidad máxima de 327.56 m y una profundidad promedio de 202.40 m (Reyes et al, 2018, p. 54). Los ríos permanentes drenan el 62% de la cuenca, 37% proviene de la subcuenca del Quixcab, 17% del San Francisco, 3% de la Catarata y San Buenaventura y 5% del Tzununá, todos ubicados en la parte norte de la cuenca. El resto, se drena a través de ríos intermitentes y efímeros (Chandra y otros, 2014,

p.18). Es un lago endorreico, no tiene salida obvia, aunque se supone que en la parte sur, en las bahías de San Lucas Tolimán y Santiago Atitlán, existen sitios de infiltración y flujo hacia la cuenca del río Madre Vieja, probablemente el río Mocá y otros (Weiss, 1971, p.130).

## 2.7. Estudios previos

Clark (1908) explica brevemente la relación trófica entre el fitoplancton, zooplancton y los peces; adjunta una lista de las especies de fitoplancton encontradas en unas muestras tomadas por Meek, del Museo de Historia Natural de Chicago, en los años de 1905 y 1906. Dentro de los géneros encontrados están: *Coelastrum*, *Eudorina*, *Peridinium*. Se realizaron jaladas verticales con una red de plancton cerca de la superficie de la bahía de San Lucas Toliman donde se encontraron los géneros: *Diaphanosoma*, *Daphnia*, *Bosmina*, *Alona*, *Diaptomus*, *Cyclops* (Meek, 1908, p. 196-197, 203-204; Clark, 1908, p. 93-104).

En febrero de 1910, Juday realizó un estudio limnológico en cuatro lagos de América Central, incluyendo el Lago de Atitlán. Este incluía un análisis de los gases disueltos en el agua y el plancton que ahí se encontraba. El fitoplancton estaba compuesto principalmente por *Melosira granulata* (ahora *Aulacoseira granulata*) entre la superficie y los 15m de profundidad, también se encontró *Gloeocapsa* y *Zygnema*. Se encontraron 4 rotíferos: *Polyarthra platyptera* (5 - 15m), *Anuraea stipitata* (ahora llamado *Keratella*) (5 - 30m), *Brachionus pala* que fue el más abundante y se encontró en todas las profundidades (más abundante entre los 15 - 30m) y un bdeloideo. El único copépodo encontrado fue *Cyclops* que ocupó toda la columna a excepción de los 0 – 5m; los nauplios estaban distribuidos en toda la columna pero eran más abundantes entre los 5 y 30 m. Se encontraron 5 cladóceros por debajo de los 5m de profundidad: *Daphnia longispina* var. *hyalina*, *Daphnia pulex*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia*



*pulchella* y *Bosmina obtusirostris*. *D. pulex* se encontró hasta después de los 100m. *Diaphanosoma* y *Ceriodaphnia* se encontraron solamente entre los 5 y 15m. *D. hyalina* y *Bosmina* se encontraban en toda la columna debajo de los 5 metros y fueron más numerosos entre los 5 y 15m. No se encontraron protozoos (Juday, 1915, pp. 237-238). Además encontró *Cyclops fuscus* (ahora *Macrocyclus fuscus*), *Cyclops serrulatus* (ahora *Eucyclops serrulatus*), *Cyclops prasinus* (ahora *Tropocyclops prasinus*), *Ilyocryptus spinifer*, *Macrothrix laticornis*, *Alona costata*, *Graptoleberis testudinaria*, *Chydorus sphaericus*, *Camptocercus rectirostris* (Weiss, 1971, p.92).

Weiss, 1971, incluye una sección del zooplancton donde compara lo encontrado en los años 1968 a 1970 con lo que encontró Juday en 1915. Documenta la presencia de *Keratella cochlearis*, *Polyarthra*, *Brachionus calyciflorus*, *Platyas patulus* y *Asplanchna priodonta*, estos dos últimos no reportados por Juday (Weiss, 1971, p. 94). *Daphnia ambigua* y *D. pulex*, *Bosmina coregoni*, *B. longirostris* y *Diaphanosoma brachyurum* también fueron reportadas por Juday. Weiss indica que el zooplancton del Lago de Atitlán era muy parecido al encontrado por Juday en 1910, pero no se encontró el beloideo ni *Hyallolella*, un anfípodo encontrado en el fondo (Weiss, 1971, pp.96,101). Además se agregó *Ceratium* y *Bosmina longirostris* a la lista, lo que indica un aumento en la eutrofización de los lagos. La distribución de las especies ocurre al azar, sin embargo se observa un patrón en la concentración del plancton. Las estaciones con mayor concentración son menos profundas y están cerca de asentamientos humanos, San Lucas Tolimán y Santiago Atitlán, que probablemente aporten nutrientes al lago (Weiss, 1971, p.101-103).

En 1973, Beatty estudió en el Lago de Atitlán la relación del zooplancton con los factores fisicoquímicos del agua y demostró que los valores de diversidad dependían principalmente de la composición relativa de los grupos taxonómicos. En altas profundidades, había baja diversidad después de la mezcla y la época

lluviosa. No encontró relación entre la temperatura, clorofila *a* y turbidez con los cambios en la estructura de los ensambles del zooplancton, pero sí existía una correlación inversa entre la clorofila *a* y la abundancia del zooplancton. Además, se observó que al aumentar la heterogeneidad de los sitios y la presencia de predadores vertebrados, aumentaba la diversidad del zooplancton. Las estaciones de aguas someras mantuvieron un nivel relativamente más alto de diversidad, que se debió a un aumento en la heterogeneidad del ambiente, la predación por vertebrados o ambos (Beatty, 1975, pp. 27-29).

Toledo (2013) encontró que existía una correlación entre las concentraciones de ortofosfatos y la concentración de clorofila *a* en el Lago de Atitlán entre el 2010 y 2012.

Un análisis temporal y espacial del fitoplancton en los sitios de Santiago y el Centro Weiss G durante el 2013 determinó que la distribución temporal del fitoplancton se explicaba por las variables abióticas, más significativamente por la lluvia (Ochaeta, 2014, p. 57).

### III. JUSTIFICACIÓN

El Lago de Atitlán es una fuente de recursos muy importante para la población que habita su cuenca. Para más de 100,000 personas es el único abastecimiento de agua potable (Chandra y otros, 2013, p. 1), es un recurso económico muy importante que provee de ingresos básicos y sustento diario de alimento a su población. Es uno de los sitios más visitados de Guatemala, por lo que tiene un alto valor turístico y también tiene un valor cultural al ser un sitio sagrado (Dix, y otros, 2012, p. 36).

El aumento demográfico en la cuenca y las diferentes actividades humanas, como la deforestación, la actividad agrícola, la descarga de aguas residuales, han causado un aumento en la entrada y acumulación de nutrientes en el Lago de Atitlán; lo que ha provocado impactos indeseados durante los últimos años (Rejmánková y otros, 2011, p. 300; Dix y otros, 2012, p. 37; Castellanos & Dix, 2009, p. 5; Chandra y otros, 2013, p. 1). Dentro de estos, los más evidentes han sido los florecimientos de cianobacterias ocurridos en los años 2009, 2011, 2012 y 2015 y la disminución en la abundancia y el tamaño de los peces (Propuesta de Plan de Manejo del Lago de Atitlán con énfasis en la Pesca y Acuicultura, 2007; entrevistas personales con pescadores).

Debido al interés que existe por preservar este recurso hídrico, se ha estudiado el proceso de eutrofización tomando en cuenta las variables físicas, químicas, la dinámica fitoplanctónica, la distribución temporal y espacial de crustáceos, peces y la explotación pesquera. Sin embargo, no se ha estudiado la relación entre la dinámica de distribución espacial y temporal del zooplancton con el fitoplancton. La distribución y dinámica del fitoplancton se ve afectada por la presión que ejerce el zooplancton al consumirlo (Wetzel, 2001, p. 368; Chandra, y otros, 2013, p. 4). Debido a esto se esperaría que al aumentar la abundancia del fitoplancton,

aumente la del zooplancton al haber mayor cantidad de alimento disponible (Wetzel, 2001, p. 448); aunque debe tenerse en cuenta que no todo el fitoplancton es alimento del zooplancton (Wetzel, 2001, p. 472).

Las etapas reproductivas del zooplancton en el Lago de Atitlán, podrían estar relacionadas con el aumento de la abundancia del fitoplancton ya que hay más recursos (Wetzel, 2001, p. 467). Además, al ser fuente alimenticia de los cangrejos y los peces, también influye en la distribución y abundancia espacial y temporal de los mismos en el lago (Wetzel, 2001, p. 461; Chandra, y otros, 2013, p. 4).

El papel ecológico del zooplancton dentro de la red trófica hace a este grupo importante, ya que se alimenta del fitoplancton, y sirve de alimento de los peces. Entonces para entender la relación entre el fitoplancton y el zooplancton es necesario el describir las dinámicas y fluctuaciones en el zooplancton en función de su composición, distribución, biovolumen y reproducción relacionado a la comunidad fitoplanctónica.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1. General

Caracterizar la relación del fitoplancton y el zooplancton en los sitios Santiago Atitlán y Centro Weiss G del Lago de Atitlán durante los años 2013 y 2014.

### 4.2. Específicos

4.2.1. Determinar el biovolumen y las abundancias relativas de los taxones del zooplancton.

4.2.2. Determinar el biovolumen y las abundancias relativas de los taxones del fitoplancton.

4.2.4. Determinar las épocas reproductivas de los taxones principales del zooplancton.

4.2.3. Comparar las abundancias y biovolúmenes del zooplancton con las abundancias y biovolúmenes del fitoplancton para determinar la asociación entre ambos.

## **V. HIPÓTESIS**

La composición, abundancia y biovolumen del zooplancton están asociados con la composición, abundancia y biovolumen del fitoplancton en los sitios de Santiago Atilán y Centro Weiss G del Lago de Atilán durante los años 2013 y 2014.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Universo: Lago de Atitlán, Guatemala.

#### 6.1.1. Población

Fitoplancton y zooplancton del Lago de Atitlán.

#### 6.1.2. Muestra

Muestras de la columna de agua de 0 m a 20 m de profundidad con red de plancton de 80  $\mu\text{m}$  durante los años 2013 y 2014 en los sitios de Santiago Atitlán debido a la influencia antropogénica que tiene y porque el agua es utilizada para consumo humano, y Centro Weiss G ha sido sitio de referencia en todos los estudios que se realizan en el Lago de Atitlán como el sitio más lejano de la influencia humana.

### 6.2. Materiales

#### 6.2.1. Equipo

- Red de plancton de 80  $\mu\text{m}$  con su cuerda
- Lancha con motor fuera de borda
- Frascos de vidrio de 4 oz de capacidad
- Cámara de Sedgewick Rafter con cuadrícula para conteo de plancton

#### 6.2.2. Reactivos

- Formol
- Lugol

### 6.2.3. Instrumentos

- Microscopio
- GPS
- Cámara fotográfica
- Computadora

### 6.2.4. Recurso humano

- PhD Margaret Dix
- PhD Michael Dix
- Licda. Rosalito Barrios
- Lic. Ovidio García

## 6.3. Métodos

### 6.3.1. Fase de campo

Se realizaron muestreos mensuales durante los años 2013 y 2014 en los sitios de Santiago Atitlán (UTM: 15 P 0690179; 1619758. Geodésico: 14°38'38.772"N; 91°14'5.074"W) y Centro Weiss G (UTM: 15 P 0695168; 1626670. Geodésico: 14°42'23.182"N; 91°11'13.901"W). Se colectaron dos muestras de la columna de agua con una red de plancton de 80 µm desde 20m de profundidad hasta la superficie. Una se preservó con lugol al 2% para conteos de fitoplancton y la otra muestra se preservó con formol al 10% para conteos de zooplancton. Estas fueron colocadas en recipientes de vidrio de 4 oz de capacidad.

### 6.3.2. Análisis de las muestras

Para determinar las abundancias del fitoplancton y zooplancton, se realizaron conteos en triplicado con una cámara de Sedgwick Rafter,



contando hasta 100 individuos utilizando un microscopio. La abundancia se calculó con el promedio de los organismos presentes en los tres conteos y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{abundancia (org/L)} = \frac{\text{promedio organismos} * \text{volumen muestra (ml)} * 1000 \text{ (ml)} * \text{volumen filtrado (ml)}}{\text{volumen contado (ml)}}$$

Para calcular el volumen filtrado se utilizó la fórmula de un cilindro, utilizando el radio de 6cm y de altura la distancia desde los 20 metros de profundidad hasta la superficie.

Para cada uno de los taxones se calculó el biovolumen ( $\mu\text{m}^3$ ) según su morfología (ver anexo 1) y este se multiplicó por la abundancia obtenida. Para determinar las épocas reproductivas del zooplancton se anotó la cantidad de individuos que presentaron embriones en el caso de los cladóceros, huevos en el caso de los rotíferos y copépodos. Así mismo se anotó la abundancia de nauplios para los copépodos.

### 6.3.2. Análisis estadístico

6.3.2.1. Se realizó un análisis exploratorio para evaluar las relaciones entre riqueza y abundancia de cada unidad experimental en los sitios de Santiago y Weiss G. Se define unidad experimental a cada una de las muestras colectadas por mes en cada uno de los sitios. Con el programa estadístico PAST se obtuvo el índice de diversidad de Shannon y se calcularon los intervalos de confianza utilizando el método bootstrap para evaluar si se traslapan los valores del índice. Con el programa estadístico R se obtuvo los números de Hill (1973), que expresan los valores de los índices de Shannon ( $H'$ ) y Simpson ( $\lambda$ ) en el número efectivo de especies. Distinguen dos ensambles

con distribuciones de abundancia iguales al ponderarlos en función de sus riquezas respectivas, unificando la diversidad y la similitud. Se comparó la diversidad de las comunidades del zooplancton con las del fitoplancton.

6.3.2.2. Para evaluar las correlaciones entre la composición de los taxones del fitoplancton y los taxones del zooplancton se realizó un análisis de componentes principales, para obtener los taxones de una comunidad que expliquen la variación de los taxones. También se realizó un análisis de correspondencia canónica, que permite comparar las estructuras de las comunidades a partir de las abundancias de cada taxón.

6.3.2.3. Se realizó un análisis de correlación múltiple entre las variables de la abundancia del fitoplancton, biovolumen del fitoplancton con la abundancia del zooplancton y el biovolumen del zooplancton para determinar si la abundancia y el biovolumen del zooplancton están correlacionadas con la la abundancia y el biovolumen del fitoplancton. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ), una prueba no paramétrica al no haber normalidad en los datos. Con el valor de  $\rho$  se indicó la magnitud de la correlación y si era positiva o negativa.

6.3.2.4. Se realizó un análisis de correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre las variables de la abundancia y la riqueza del fitoplancton con la abundancia de organismos que presentaron huevos, embriones o nauplios (en el caso de los copépodos) para evaluar si las épocas reproductivas de cada taxón están relacionadas con la disponibilidad de alimento fitoplanctónico.

## VII. RESULTADOS

### 7.1. Descripción de las comunidades

Se calcularon los totales de la abundancia y el biovolumen del fitoplancton y del zooplancton para describir su comportamiento en los sitios Centro Weiss G (figura 1) y Santiago Atitlán (figura 2) durante los años 2013 y 2014.

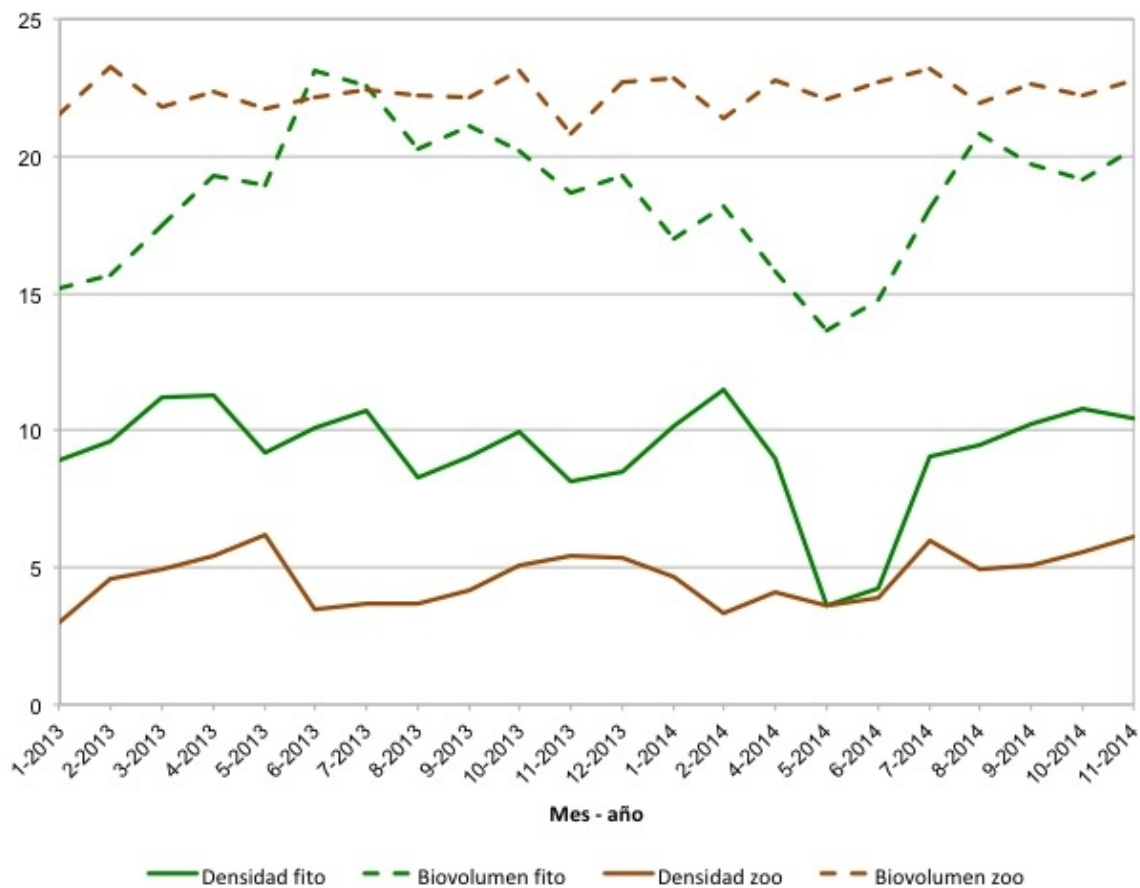


Figura 1. Logaritmo natural de la abundancia y biovolumen del fitoplancton y zooplancton del sitio Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014.

La abundancia del fitoplancton en el Centro Weiss G es mayor y más variable que la abundancia del zooplancton (figura 1). Febrero de 2014 es el mes que tiene mayor abundancia de fitoplancton y a la vez es uno de los meses con menor

abundancia del zooplancton al igual que junio de 2013. En este mes, se observa que hay un aumento en el biovolumen del fitoplancton que no corresponde al aumento en la abundancia, indicando que aumenta la abundancia de los géneros de mayor biovolumen, en este caso fue *Sphaerocystis*. Además, el biovolumen total del fitoplancton es el más alto registrado en ambos años y es mayor que el biovolumen total del zooplancton. Se observa que los meses con mayor abundancia del zooplancton coinciden con una disminución de la abundancia del fitoplancton, a excepción del mes de julio de 2014 donde hay un aumento en la abundancia del fitoplancton. Mayo de 2014 es el mes con menor biovolumen y abundancia del fitoplancton, esta última coincide con la abundancia del zooplancton.

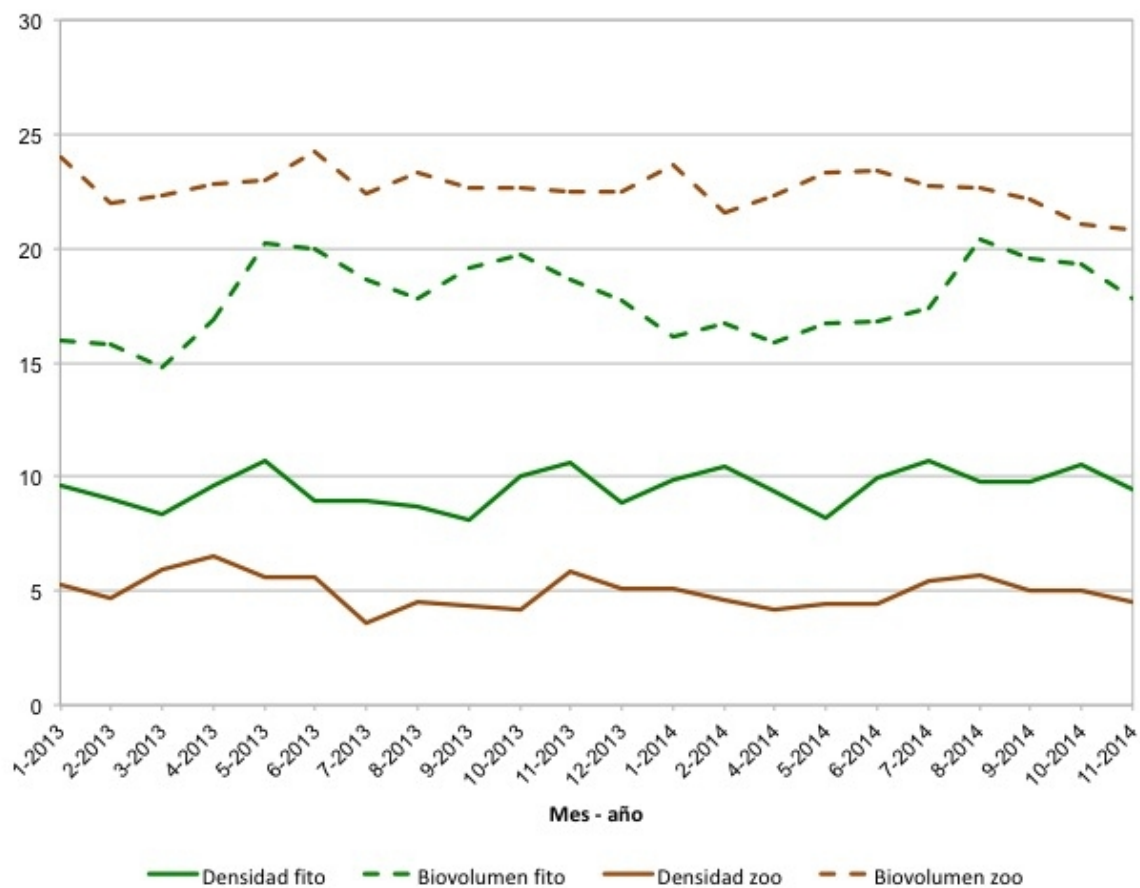


Figura 2. Logaritmo natural de la abundancia y biovolumen del fitoplancton y zooplancton del sitio Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014.

Al igual que en el Centro Weiss G, en Santiago Atitlan, la abundancia del fitoplancton es mayor y más variable que la abundancia del zooplancton, sin embargo las fluctuaciones son menos marcadas (figura 2). Los meses con mayor abundancia del fitoplancton son mayo, noviembre 2013 y julio 2014, estos no coinciden con los meses de mayor biovolumen mayo, octubre 2013 y agosto 2014. Se observa que los meses en que aumenta el biovolumen del zooplancton coinciden con un aumento en la abundancia del fitoplancton.

Se encontró 18 géneros de fitoplancton en total: 6 géneros de diatomeas (Bacillariophyta), 5 géneros de clorofitas (Chlorophyta), 1 género de dinoflagelados (Dinophyta), 2 charofitas (Charophyta) y 4 cianofíceas (Cyanobacteria). En general, las diatomeas fueron las más abundantes.

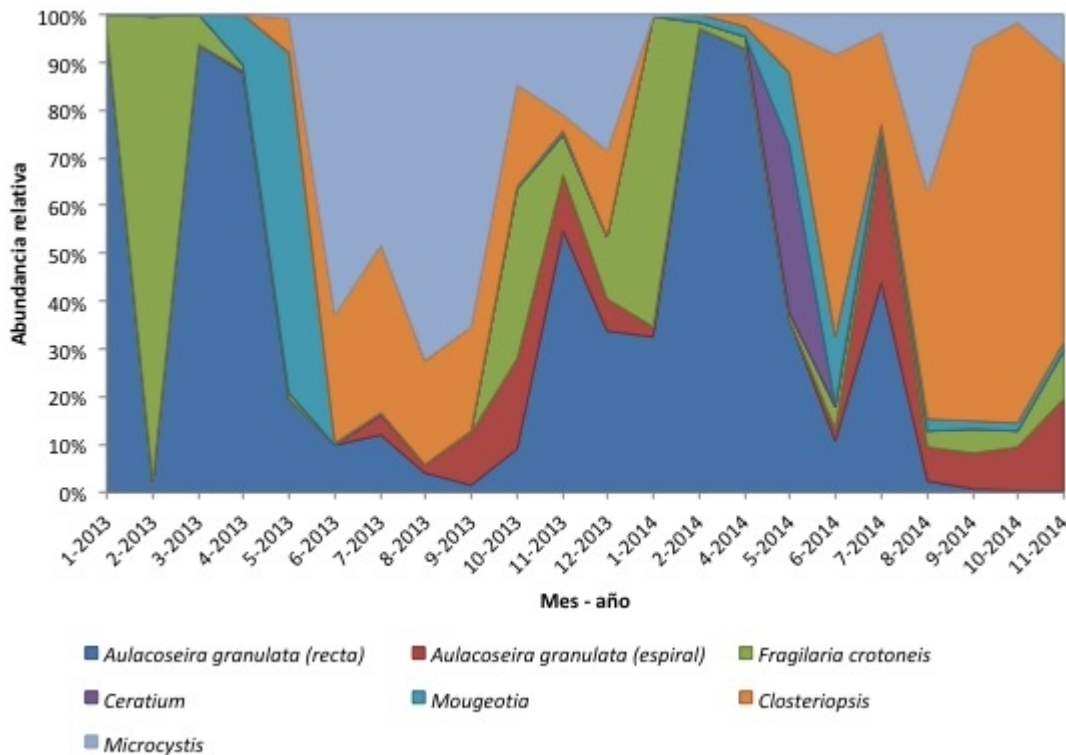


Figura 3. Abundancias relativas del fitoplancton del sitio Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los géneros con una abundancia relativa mayor al 15%.

En el Centro Weiss G, las diatomeas son las más abundantes los primeros meses (enero a abril) de ambos años (cuadro 1 y 2). Siendo principalmente *Aulacoseira granulata* (forma recta) a excepción de febrero 2013 donde abunda más *Fragilaria crotonensis* (figura 3). En relación a la forma de *A. granulata*, se observa la presencia de la forma espiral en los meses de junio 2013 a enero 2014 y junio a noviembre 2014. En los meses de junio a septiembre 2013 se observa una dominancia de *Microcystis*, lo cual es relevante por su capacidad de producir la cianotoxina microcistina. De agosto a noviembre 2014 se observa una dominancia de *Closteriopsis*.

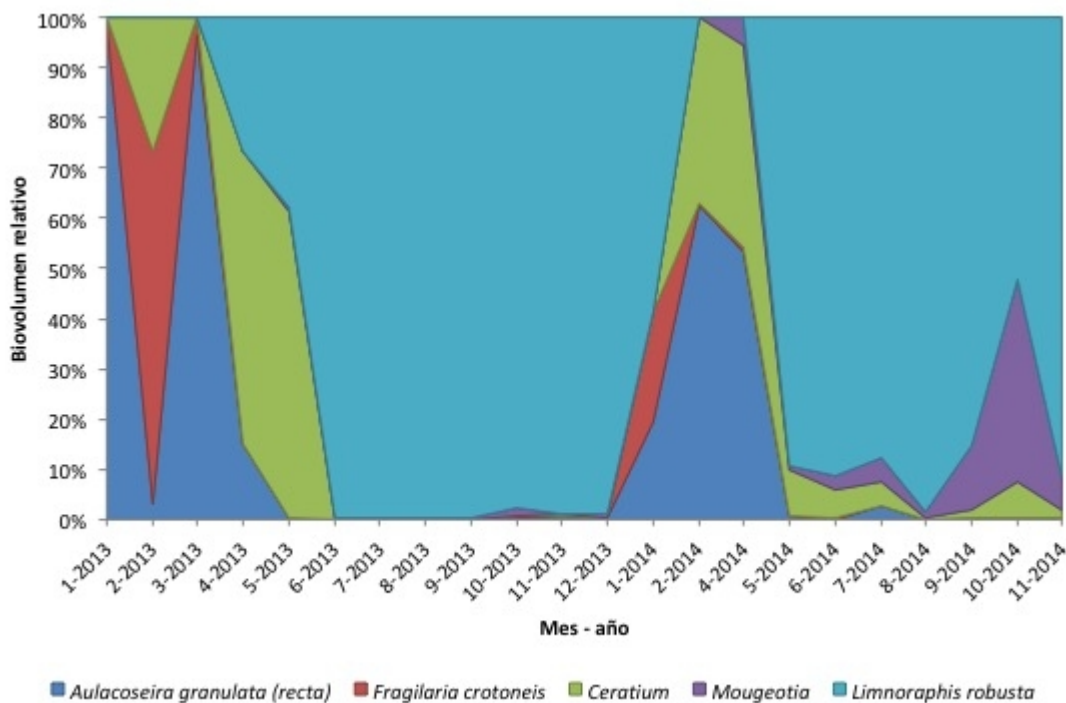


Figura 4. Biovolumen relativo del fitoplancton del sitio Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los géneros con un biovolumen relativo mayor al 15%.

En relación al biovolumen relativo en el Centro Weiss G (figura 4), se observa la dominancia de las diatomeas al igual que en la densidad (figura 3). Sin embargo, en el período de abril a mayo 2013 y enero a abril 2014 parte de ese biovolumen es del dinoflagelado *Ceratium*. En los meses de junio a diciembre 2013 y mayo a

noviembre 2014 (a excepción de octubre) se observa que la mayor contribución del biovolumen es de la cianobacteria *Limnoraphis robusta*, que anteriormente ha causado florecimientos en el lago.

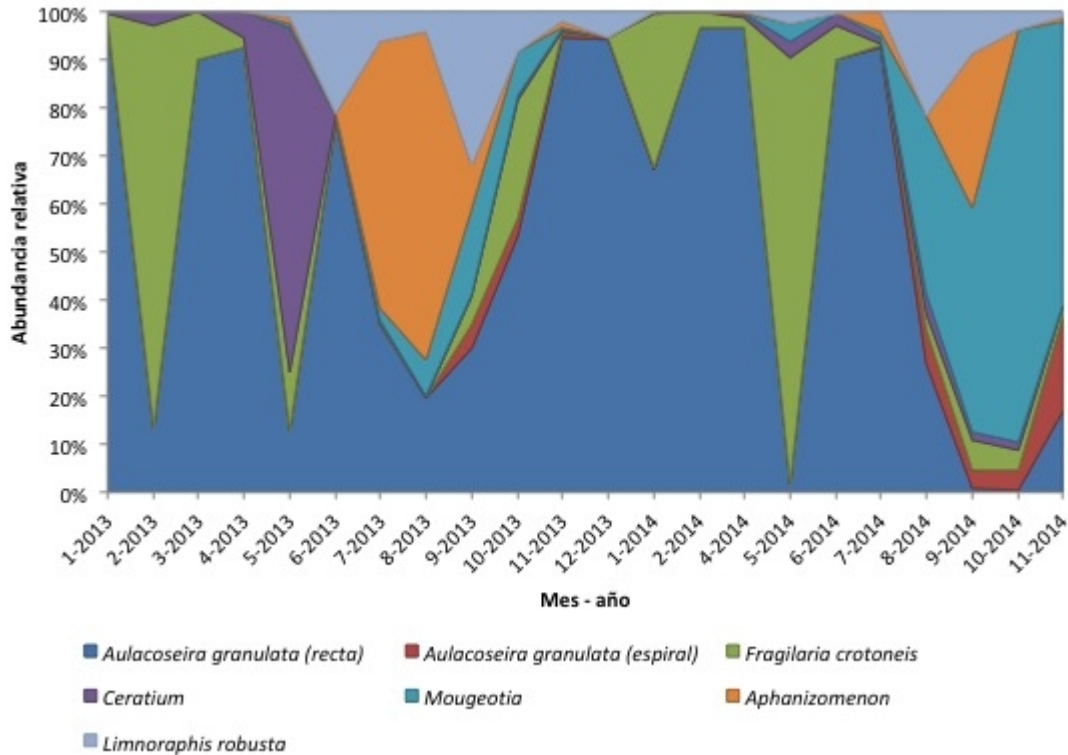


Figura 5. Abundancias relativas del fitoplancton del sitio Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los géneros con una densidad relativa mayor al 15%.

En Santiago Atitlán (figura 5) también hay dominancia de diatomeas en los meses de enero a abril 2013 y de noviembre 2013 a julio 2014 (tres meses más que en el Centro Weiss G). También principalmente por *Aulacoseira granulata* (forma recta) a excepción de febrero 2013 y mayo 2014 donde la dominancia es de *Fragilaria crotonensis*. En relación a la forma de *A. granulata*, se observa la presencia de la forma espiral en los meses de junio a diciembre 2013 y junio a noviembre 2014, muy parecido al Centro Weiss G. En Santiago Atitlán se observa a la cianobacteria *Limnoraphis robusta* y *Aphanizomenon* en lugar de *Microcystis*. *L. robusta* no domina en ningún momento, pero *Aphanizomenon* domina entre julio y agosto



2013 (*Microcystis* domina estos meses en el Centro Weiss G). La charofita *Mougeotia* domina de septiembre a noviembre 2014, meses que es más abundante en el Centro Weiss G.

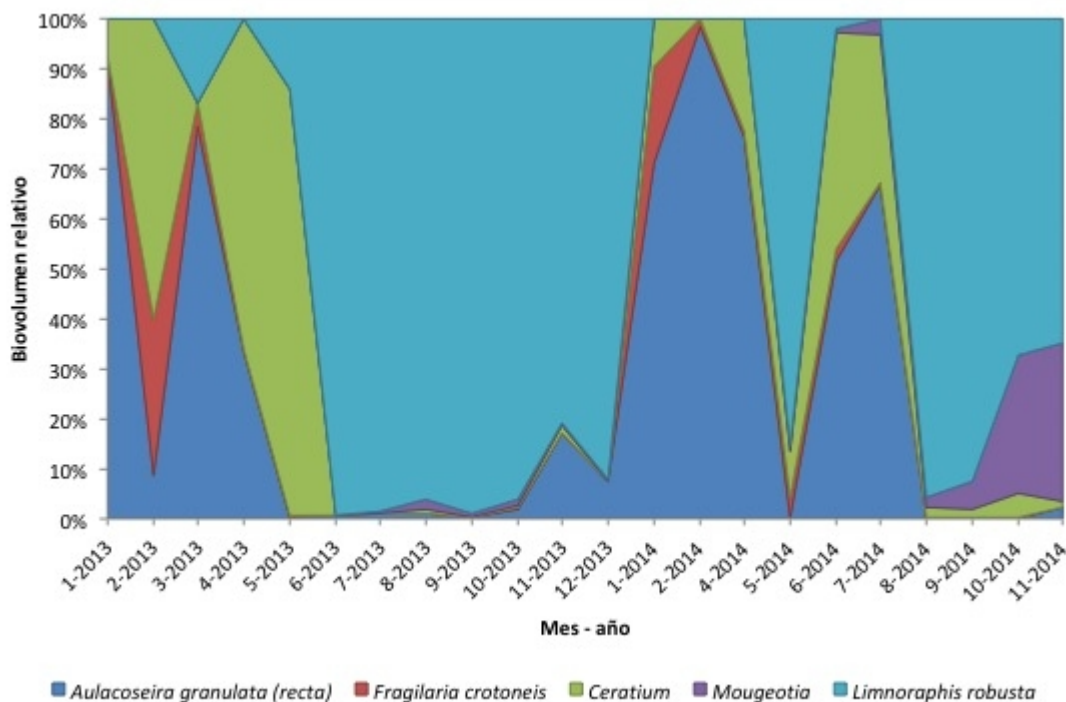


Figura 6. Biovolumen relativo del fitoplancton del sitio Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los géneros con un biovolumen relativo mayor al 15%.

En relación al biovolumen en Santiago Atitlán (figura 6), se observa la dominancia de las diatomeas (principalmente *Aulacoseira granulata*) en enero y marzo 2013, de enero a abril y junio y julio 2014. Los meses que no concuerdan con la abundancia, es por *Ceratium*, quien contribuye en mayor medida con el biovolumen. En los meses de junio a diciembre 2013 (como ocurre en el Centro Weiss G) y mayo a noviembre 2014 (a excepción de junio y julio) se observa que la mayor contribución del biovolumen es de la cianobacteria *Limnoraphis robusta*.

En el cuadro 9 se listan los taxones de zooplancton identificados: un platelminto (Filo Platyhelminthes), 4 ciliados (Filo Ciliophora), un heliozoo (Orden Heliozoa), 8



rotíferos (Rotifera), 2 copépodos (Subclase Copepoda) y 5 cladóceros (Suborden Cladocera). En general, los ciliados fueron las más abundantes.

Cuadro 9. Grupos funcionales de los taxones del zooplancton identificados en los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014

Filo	Orden	Género	Grupo funcional
Platyhelminthes	n.i.	n.i.	Bacteriófagos, algas, protozoos (Thorp y Covich, 2001, p. 160).
Ciliophora	n.i.	n.i.	Bacterívoro (Thorp y Covich, 2001, p. 64)
	Haptorida	<i>Didinium</i>	Predador especialista paramecios (Thorp y Covich, 2001, p. 48)
	Sessilida	<i>Vorticella</i>	Bacterívoros (Thorp y Covich, 2000, p. 55)
	Peritrichida	<i>Vaginicola</i>	Suspensívoro (Eikelboom, 2000, p.90)
Sarcodina	Heliozoa	n.i.	Bacterívoro (Thorp y Covich, 2001, p. 65)
Rotifera	Flosculariacea	<i>Hexarthra</i>	Microherbívoro (Jaramillo y Pinto, p.964)
	Ploima	<i>Brachionus</i>	Suspensívoro (Starkweather y Gilbert, 1977, p.134)
		<i>Keratella</i>	Filtrador (Thorp y Covich, 2001, p.225)
		<i>Asplanchna</i>	Predador (Thorp y Covich, 2001, p.203)
		<i>Euchlanis</i>	Herbívoro, bacteriófago y detritívoro (King, 1967, p.113)
		<i>Ascomorpha</i>	Macrófago (Stelzer, 1998, p. 1143)
		<i>Gastropus</i>	No filtrador (Shiel, 2001, p.112)
		<i>Trichocerca</i>	Succionador (Thorp y Covich, 2001, p. 224)
Arthropoda	Cyclopoida	n.i.	Predador (Thorp y Covich, 2001, p.225)
	Calanoida	n.i.	Filtrador (Douglas, 2001, p.493)
	Diplostraca	<i>Ceriodaphnia</i>	Filtrador (Thorp y Covich, 2001, p.861)
		<i>Bosmina</i>	Filtrador (Thorp y Covich, 2001, p.225)
		<i>Diaphanosoma</i>	Herbívoro (Thorp y Covich, 2001, p. 861)
		<i>Simocephalus</i>	Filtrador (Thorp y Covich, 2001, p. 885)
		<i>Daphnia</i>	Filtrador (Thorp y Covich, 2001, p.866)

Fuente: Thorp y Covich, 2001. Jaramillo-Londoño y Pinto-Coehlo, 2010.

El zooplancton del Centro Weiss G muestra una mayor equidad de géneros que el fitoplancton (figura 7). Sin embargo, se observa dominancia de los copépodos

Calanoida en febrero y junio 2013. El rotífero *Vorticella* domina de noviembre a diciembre 2013 y octubre a noviembre 2014. El rotífero *Gastropus* domina en mayo 2015 y el ciliado *Vaginicola* de julio a agosto 2014.

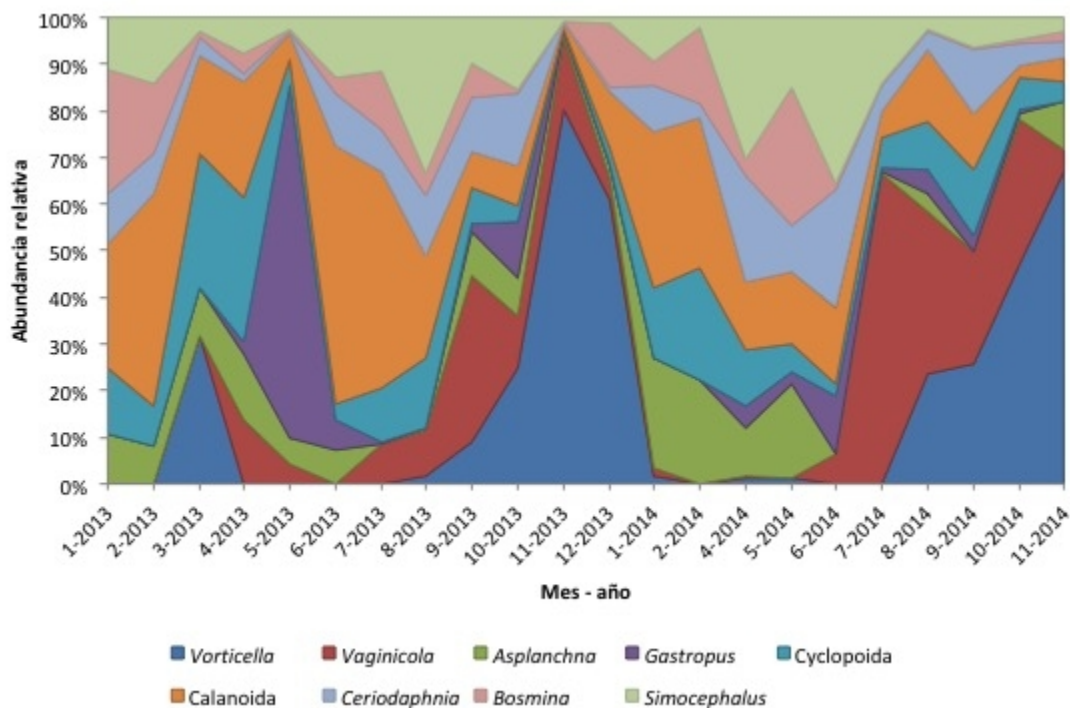


Figura 7. Abundancias relativas del zooplancton del sitio Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los taxones con una densidad relativa mayor al 15%.

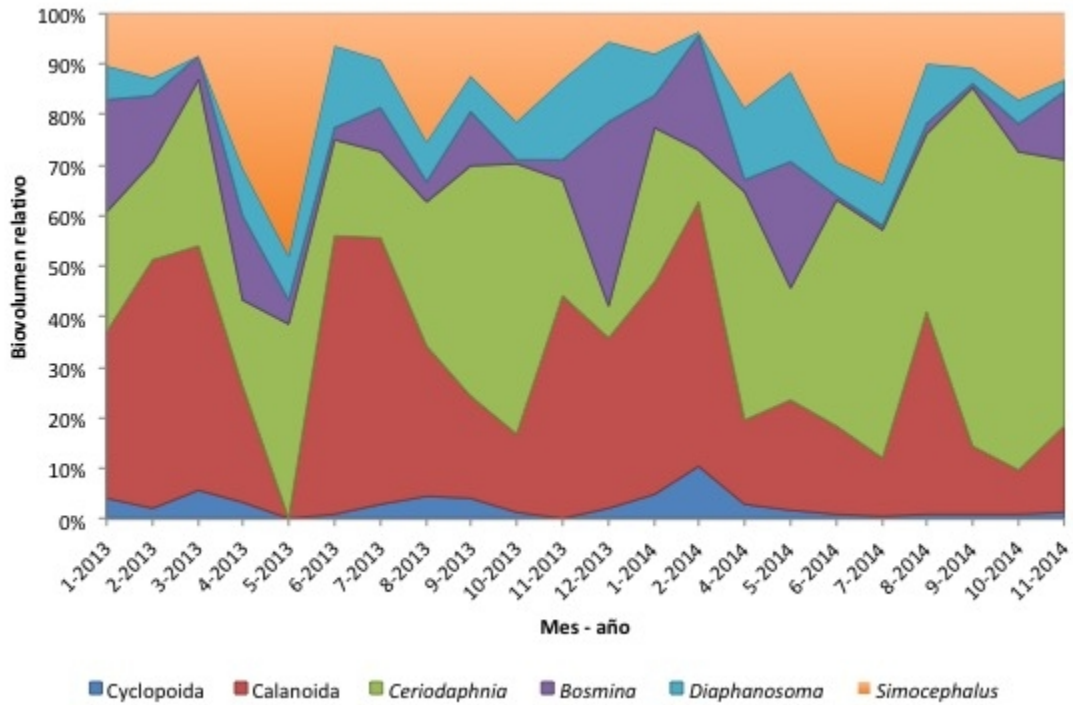


Figura 8. Biovolumen relativo del zooplancton del sitio Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los taxones con un biovolumen relativo mayor al 15%.

El biovolumen relativo del zooplancton en el Centro Weiss G (figura 8) está compuesto mayormente por los cladóceros, en especial *Ceriodaphnia* que domina de agosto a septiembre 2013 y abril a noviembre 2014 (a excepción de mayo). Los meses de marzo, junio julio 2013 y febrero 2014 el biovolumen está compuesto principalmente por los copépodos calanoides.

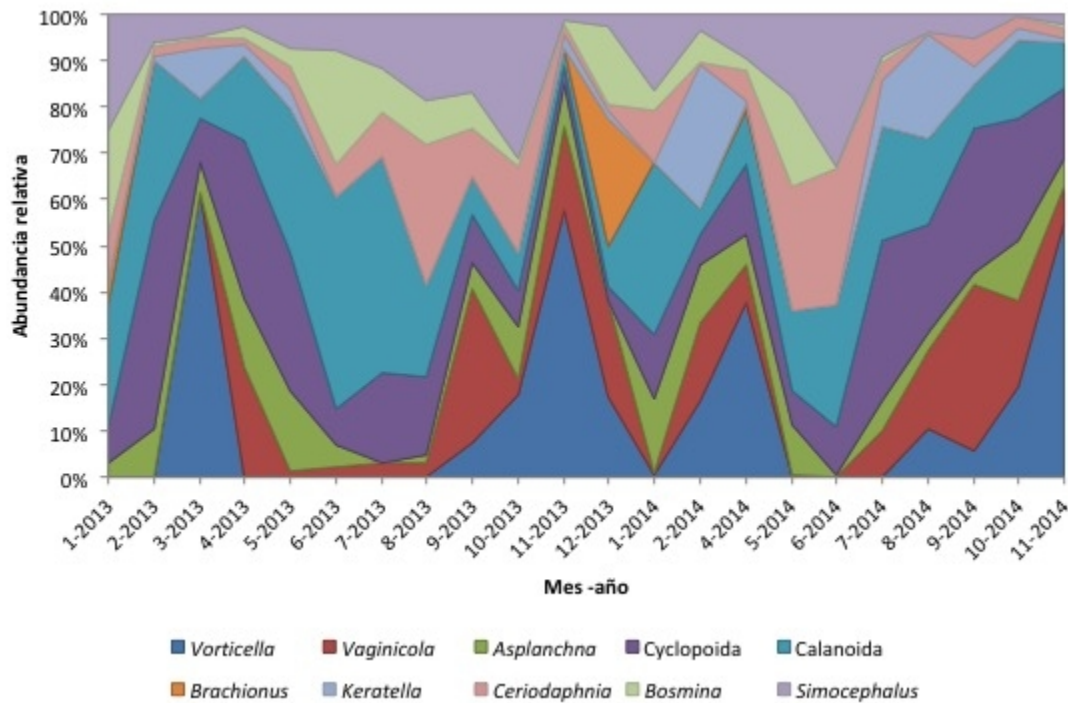


Figura 9. Abundancias relativas del zooplancton del sitio Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los taxones con una densidad relativa mayor al 15%.

Las abundancias relativas del zooplancton en Santiago Atitlán (figura 9) tiene un patrón parecido al que se encontró en el Centro Weiss G. Sin embargo, en este sitio se encuentran los rotíferos *Keratella* y *Brachionus*. *Vorticella* domina en marzo, noviembre a diciembre 2013, abril y noviembre 2014. Los copépodos *Calanoida* se encuentran entre los más dominantes en este sitio, principalmente de junio a julio 2013 al igual que en el centro.

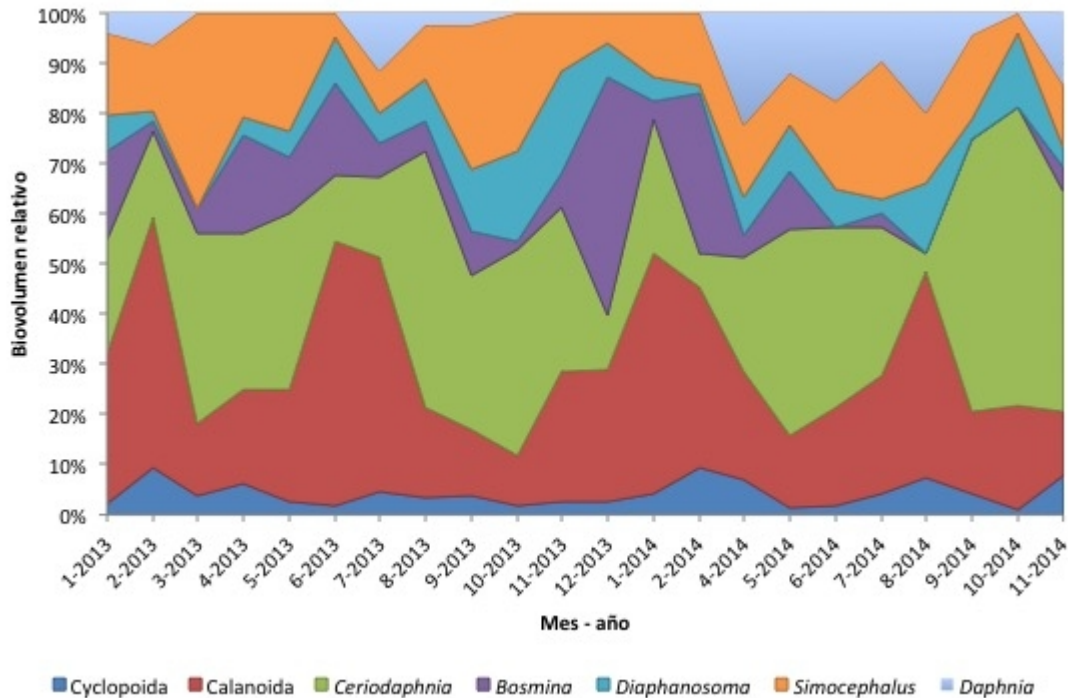


Figura 10. Biovolumen relativo del zooplancton del sitio Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014. Se muestran únicamente los taxones con un biovolumen relativo mayor al 15%.

En relación al biovolumen del zooplancton de Santiago Atitlán (figura 10), se observa que está compuesto mayormente por los cladóceros, en especial *Ceriodaphnia* que domina de marzo a abril y agosto a septiembre 2013 y septiembre a noviembre 2014. *Daphnia* contribuye en una buena parte en este sitio, a diferencia del Centro Weiss G. Los meses de febrero, junio, julio 2013 y de enero a febrero 2014 el biovolumen está compuesto principalmente por los copépodos calanoides.

## 7.2. Épocas reproductivas del zooplancton

Se describe las épocas reproductivas del zooplancton relacionando la abundancia de organismos que no presentaron huevos con la abundancia de organismos que presentaron huevos por mes en los dos sitios evaluados.

## 7.2.1. Rotifera

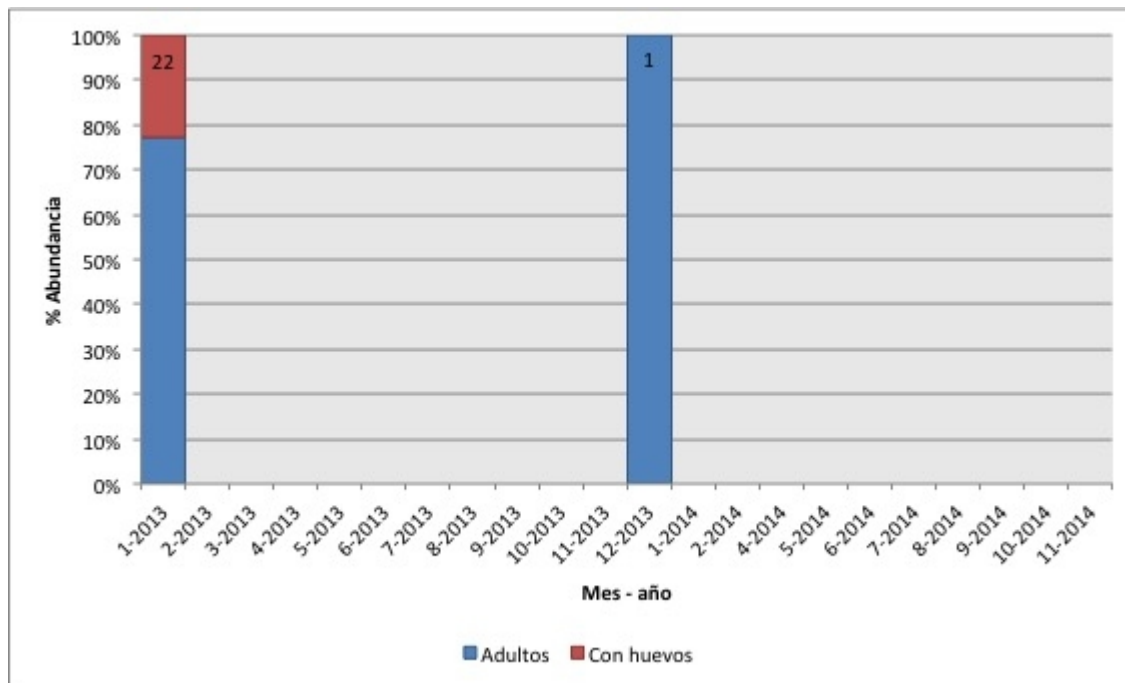


Figura 11. Porcentaje de individuos del género *Brachionus* que presentan huevos en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

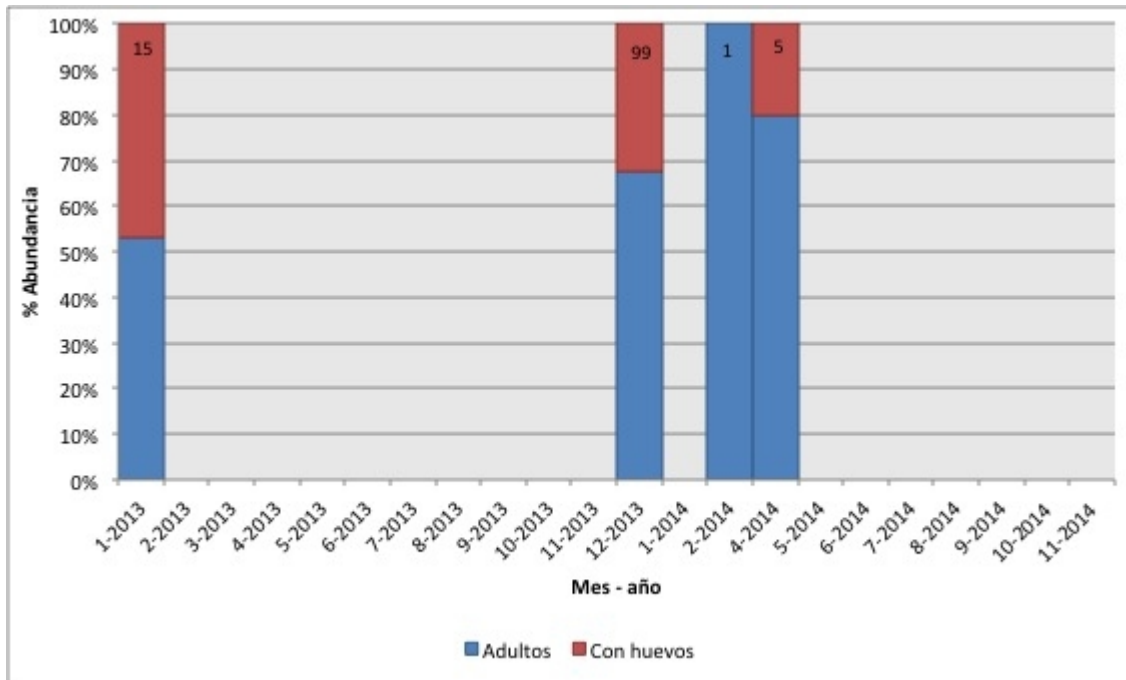


Figura 12. Porcentaje de individuos del género *Brachionus* que presentan huevos en Santiago Atitlán. El número indica los individuos contados.

Se observa que *Brachionus* aparece en enero y diciembre de 2013. En diciembre 2013 no se encontró organismos que presentaran huevos en el Centro Weiss G (figura 11), pero sí en Santiago Atitlán donde fueron más abundantes y están en mayor proporción (figura 12).

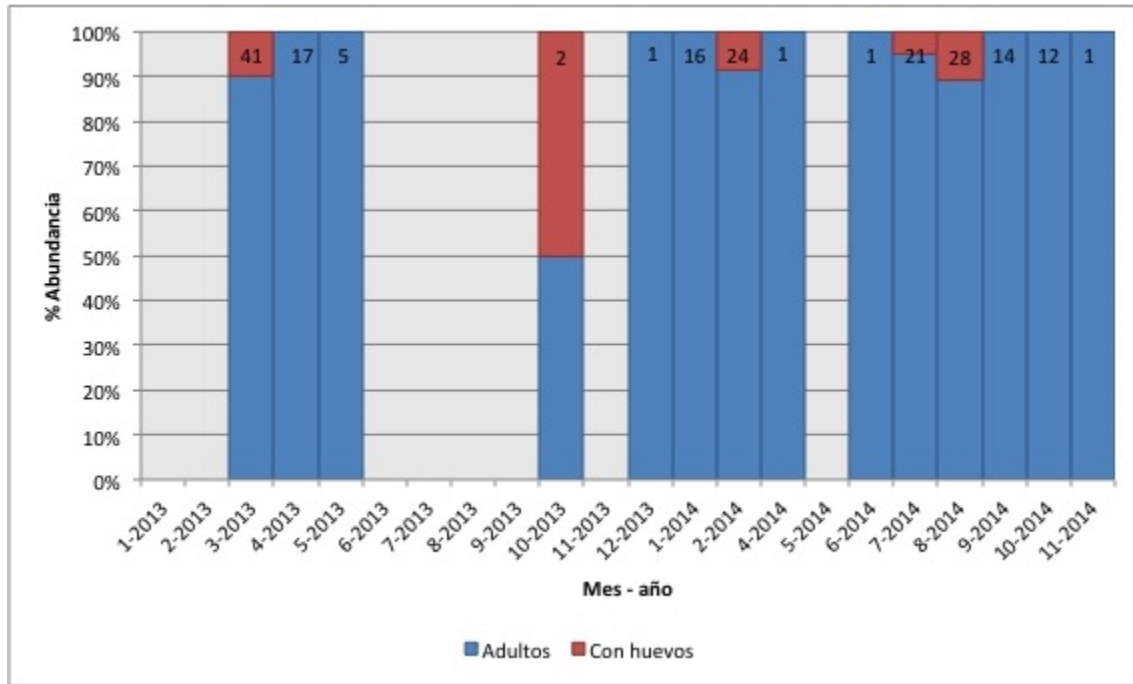


Figura 13. Porcentaje de individuos del género *Keratella* que presentan huevos en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

En la figura 13 se observa que *Keratella* es más abundante en los meses de marzo 2013, julio y agosto 2014 y son más abundantes los individuos con huevos en estos meses. Los meses de marzo, abril y mayo 2013 tienen un comportamiento muy similar en ambos sitios, aunque hay más abundancia en Santiago Atitlán (figura 14).



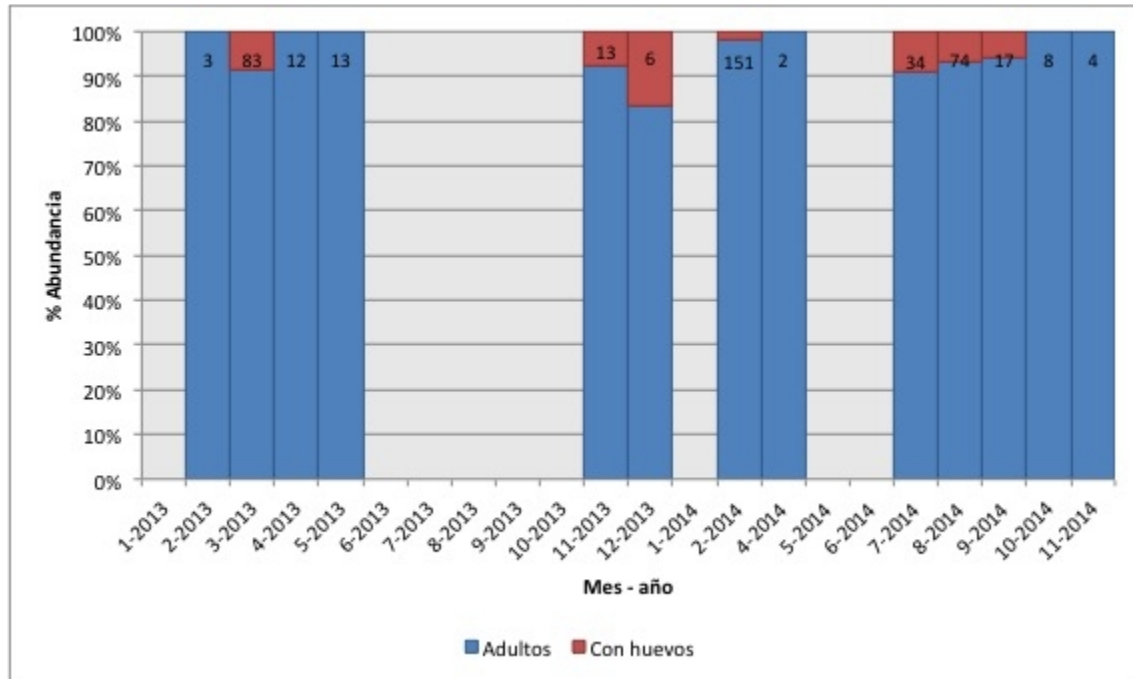


Figura 14. Porcentaje de individuos del género *Keratella* que presentan huevos en Santiago Atitlán. El número indica los individuos contados.

### 7.2.2. Cladocera

Se observa que el género *Bosmina* no presenta el mismo patrón en ambos sitios (figuras 15 y 16). En el caso del Centro Weiss G, los meses de febrero, diciembre de 2013, octubre y noviembre 2014 son los meses con mayor abundancia de individuos con embriones; en Santiago Atitlán ocurre en los meses de junio 2013 y mayo 2014.



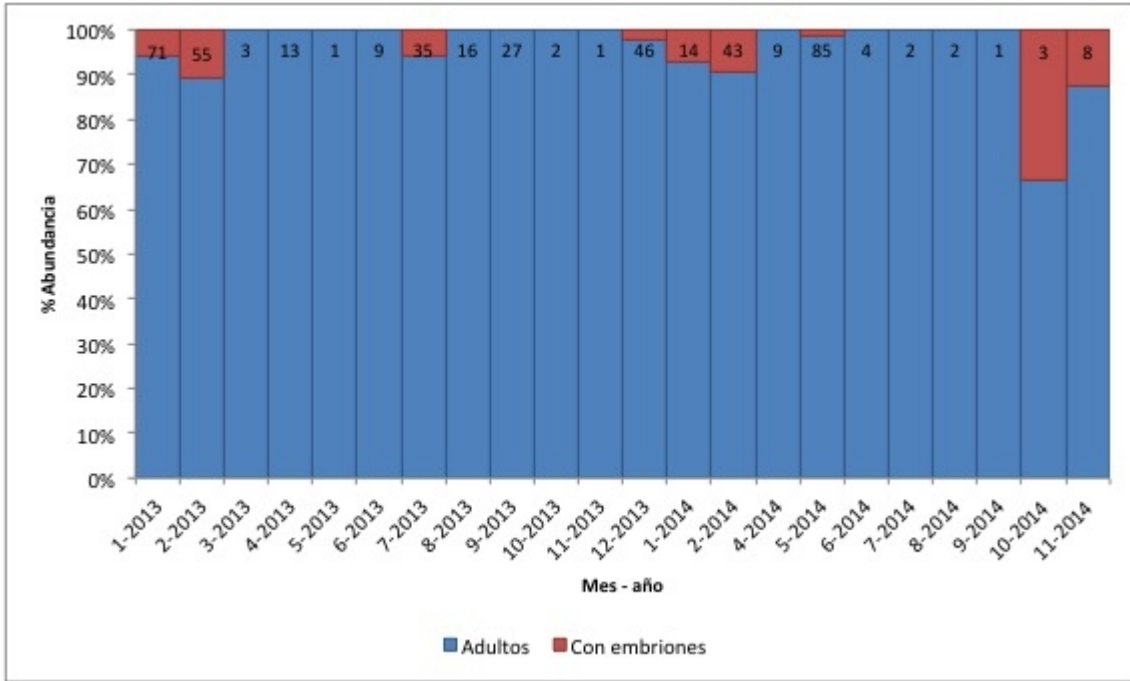


Figura 15. Porcentaje de individuos del género *Bosmina* que presentan embriones en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

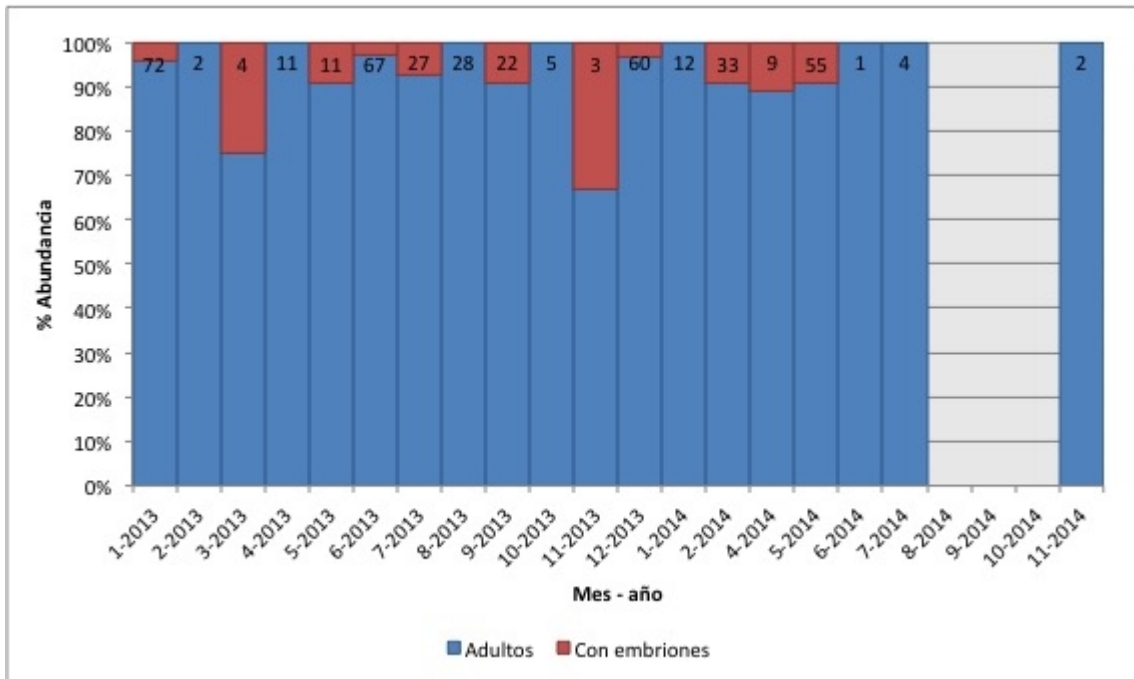


Figura 16. Porcentaje de individuos del género *Bosmina* que presentan embriones en Santiago Atitlán. El número indica los individuos contados.

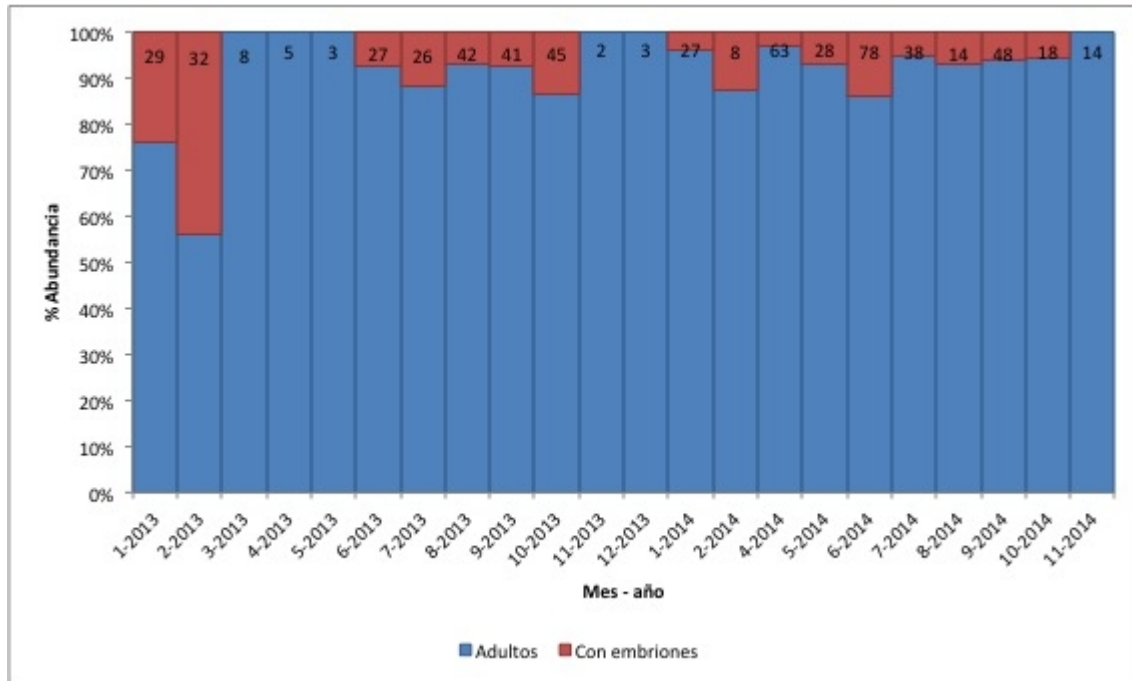


Figura 17. Porcentaje de individuos del género *Ceriodaphnia* que presentan embriones en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

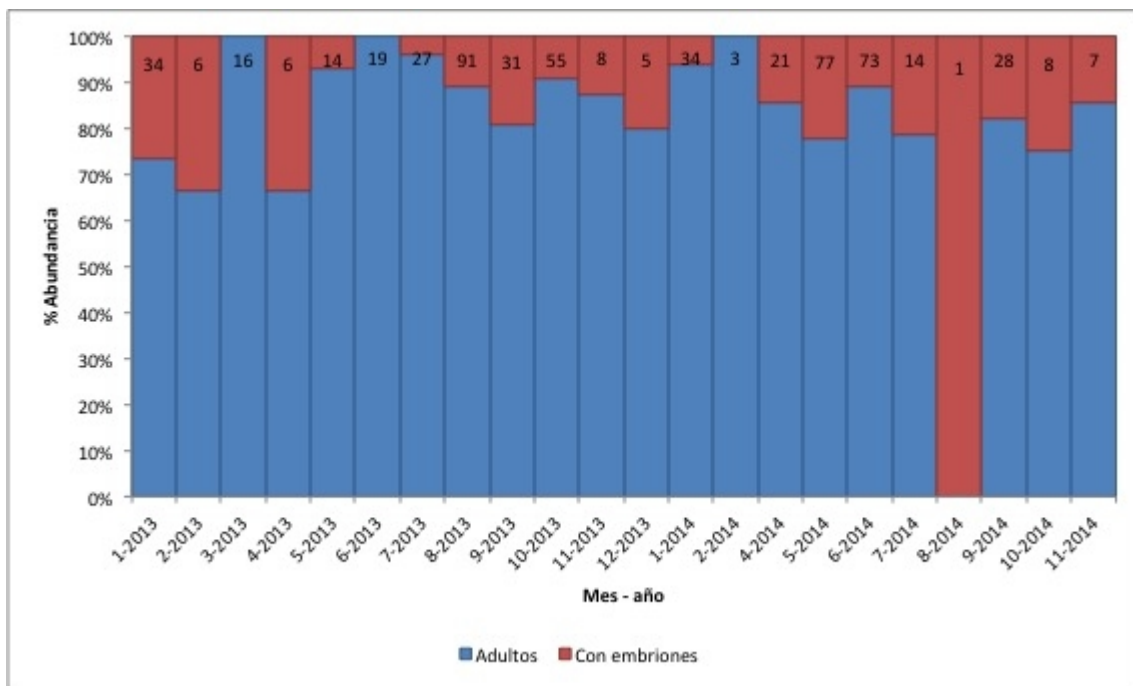


Figura 18. Porcentaje de individuos del género *Ceriodaphnia* que presentan embriones en Santiago Atitlán. El número indica los individuos contados.

En las figuras 17 y 18 se observa que el género *Ceriodaphnia* está presente durante todos los meses del 2013 y 2014. Hay presencia de individuos en reproducción durante todo el año, con picos en los meses de febrero, octubre 2013 y junio 2014 en el Centro Weiss G y los meses de enero y abril 2013, mayo y junio 2014 en Santiago Atitlán.

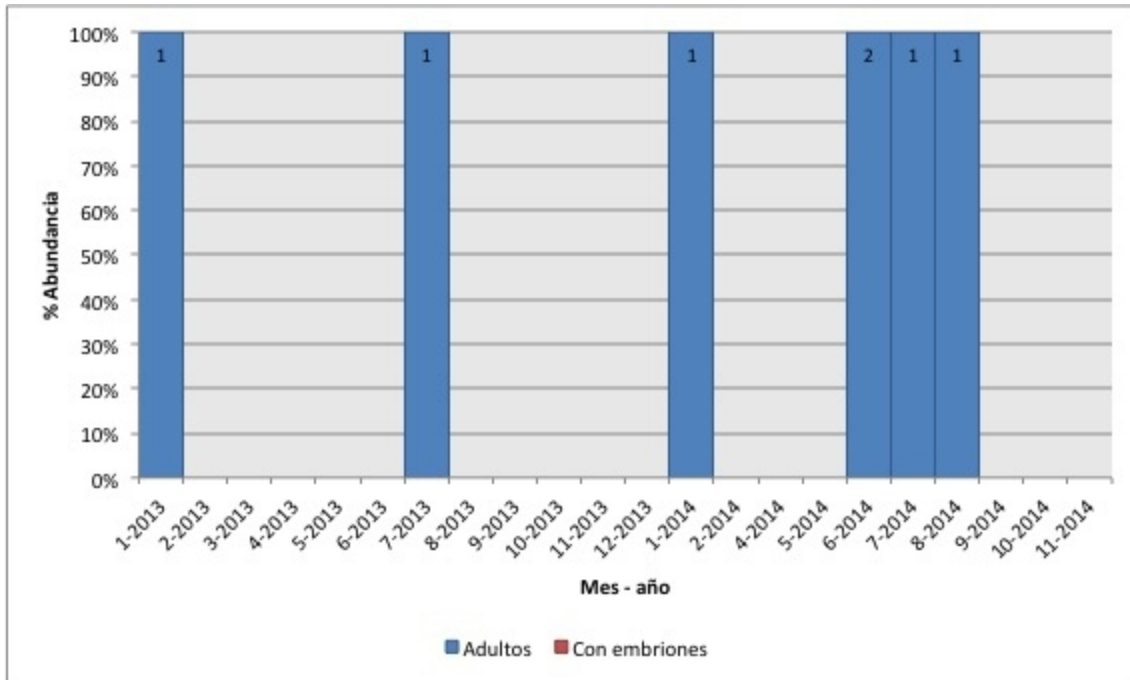


Figura 19. Porcentaje de individuos del género *Daphnia* que presentan embriones en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

El género *Daphnia* no es muy abundante y solo se encontraron individuos en reproducción en Santiago Atitlán durante los meses de enero, julio 2013 y junio 2014 (figuras 19 y 20). Los picos de abundancia son en julio 2014 en el Centro Weiss G y junio 2014 en Santiago Atitlán.

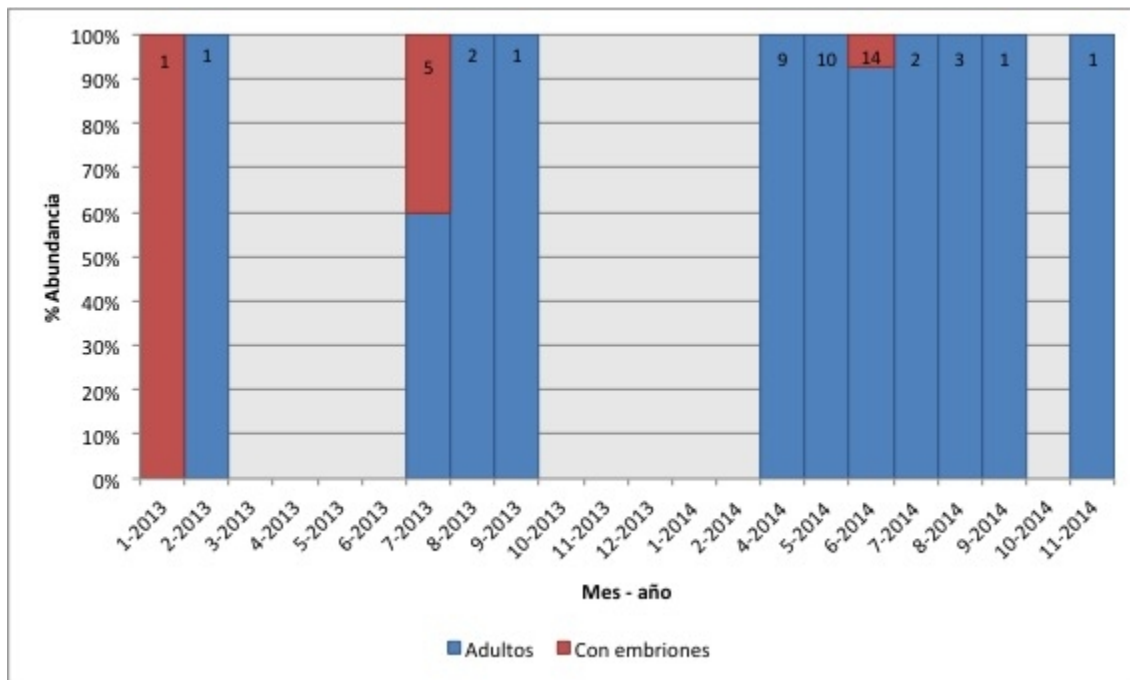


Figura 20. Porcentaje de individuos del género *Daphnia* que presentan embriones en Santiago Atitlán. El número indica los individuos contados.

Se observa que *Diaphanosoma* está presente en todos los meses a excepción de marzo 2013 (figuras 21 y 22). Se encontró individuos con embriones en los meses de septiembre, octubre 2013 y abril 2014 en ambos sitios. El pico de abundancia en el Centro Weiss G es en el mes de diciembre 2013 y en Santiago Atitlán en el mes de junio 2013. En estos meses no se encontró individuos con embriones.

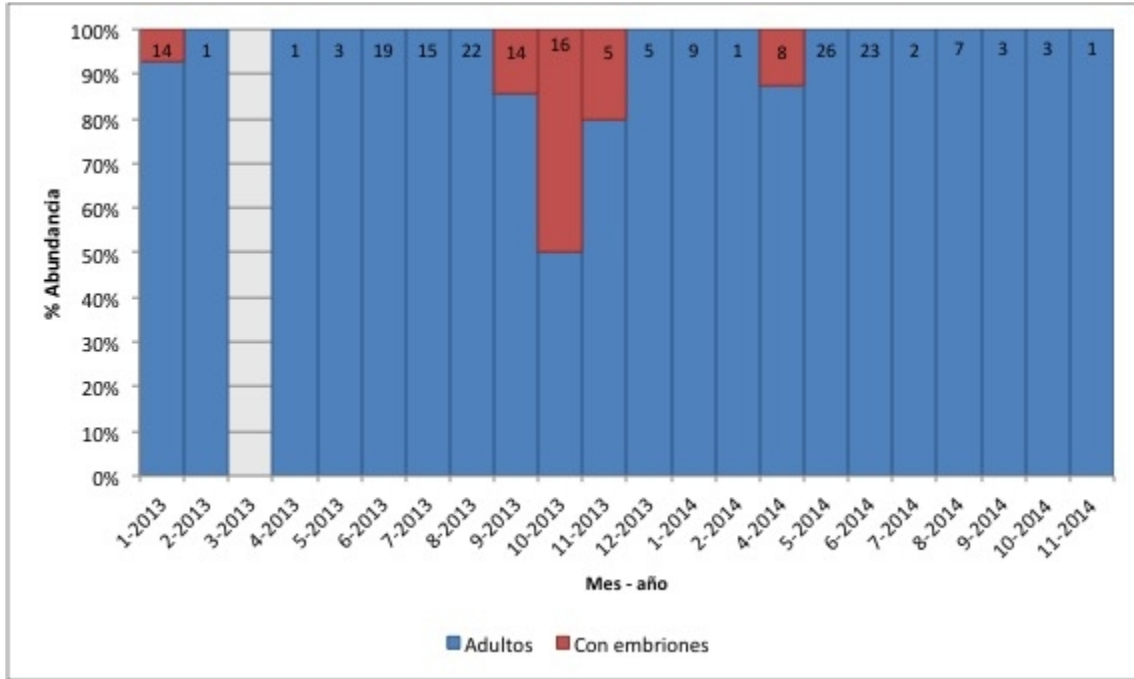


Figura 21. Porcentaje de individuos del género *Diaphanosoma* que presentan embriones en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

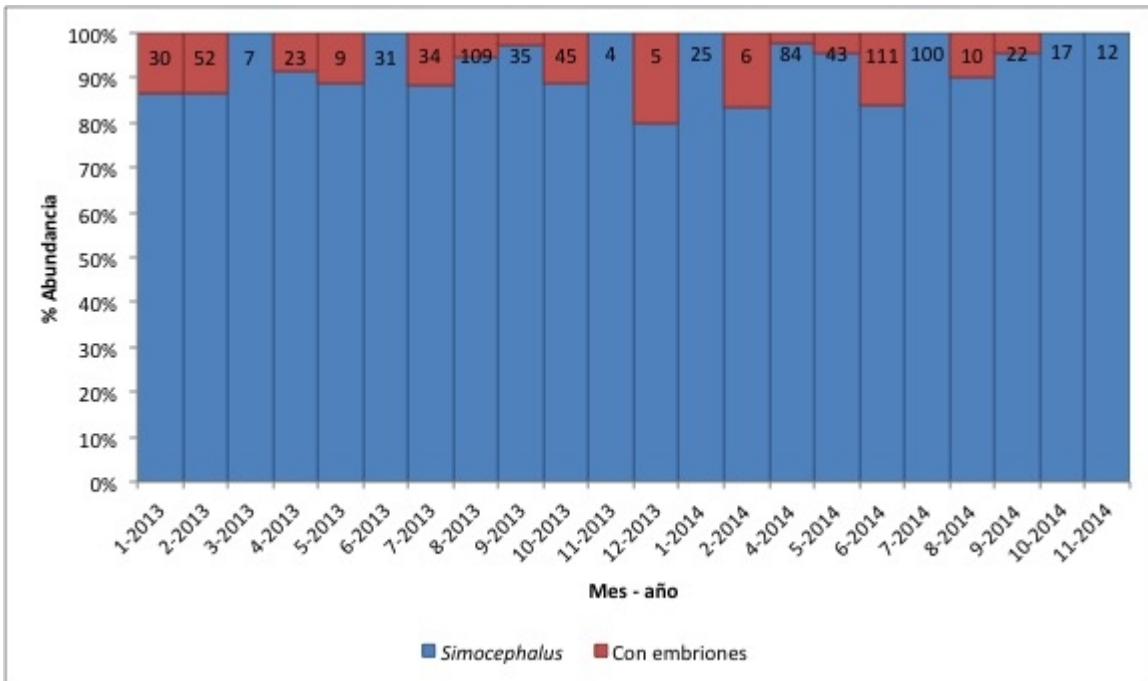


Figura 22. Porcentaje de individuos del género *Diaphanosoma* que presentan embriones en Santiago Atitlán. El número indica los individuos contados.

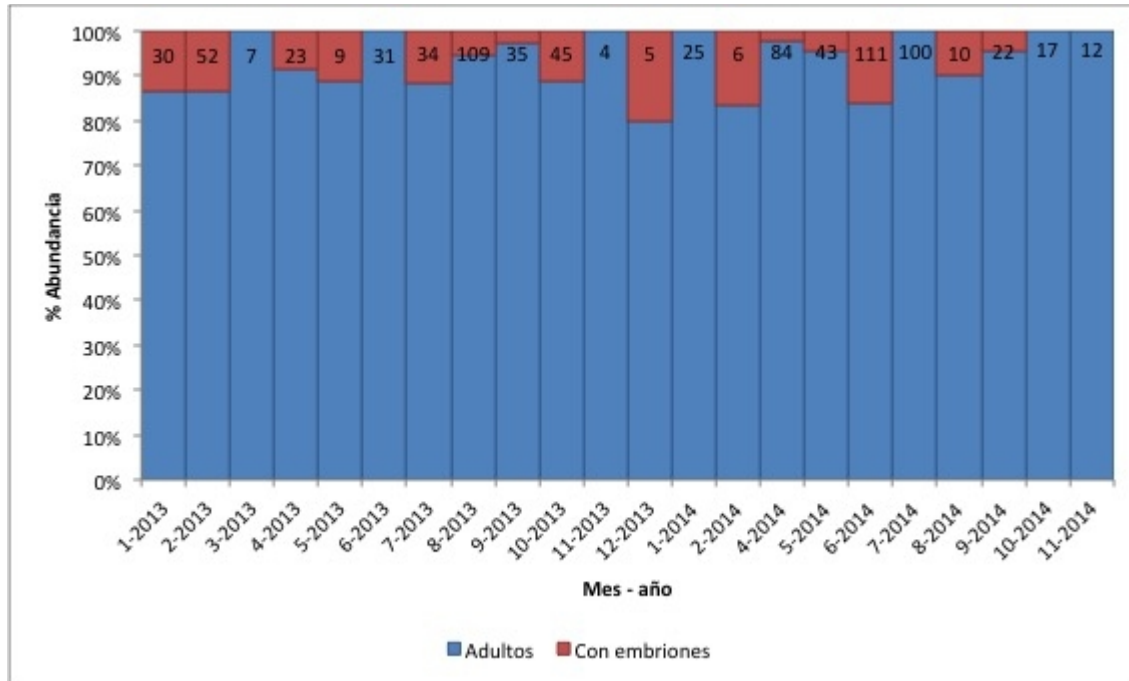


Figura 23. Porcentaje de individuos del género *Simocephalus* que presentan huevos en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

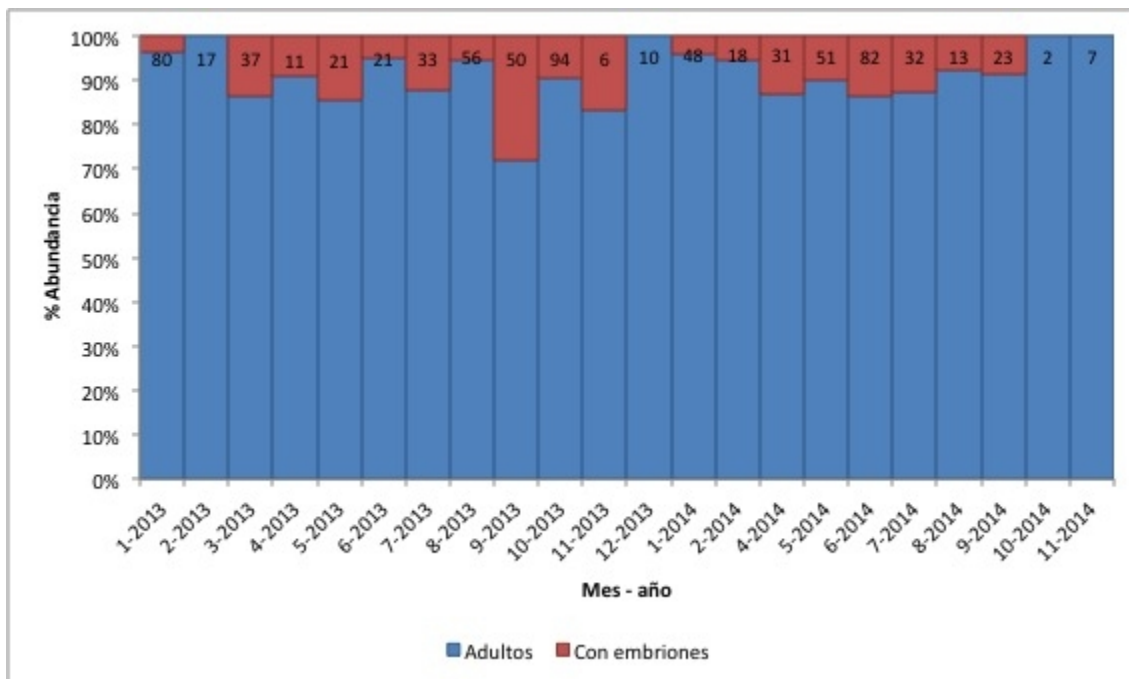


Figura 24. Porcentaje de individuos del género *Simocephalus* que presentan huevos en Santiago Atilán (derecha). El número indica los individuos contados.

El género *Simocephalus* está presente en todos los meses y se encontró individuos con embriones en la mayoría de los meses (figuras 23 y 24). En el Centro Weiss G hay un pico de abundancia en julio 2014, mientras que en Santiago Atitlán, el pico de abundancia es en enero de 2013.

### 7.2.3. Copepoda

Las abundancias de las poblaciones de copépodos se clasificaron en tres grupos: nauplios, adultos y con huevos. Se observa en la figuras 25 y 26 que la población de copépodos ciclopoideas está compuesta principalmente por nauplios en los meses de marzo a mayo 2013 y de julio a noviembre 2014 en ambos sitios. No se observan muchos individuos con huevos, siendo los meses de enero, febrero y julio a septiembre 2013 en el Centro Weiss G y de abril a julio del mismo año en Santiago Atitlán. En 2014 los meses de enero a agosto en ambos sitios.

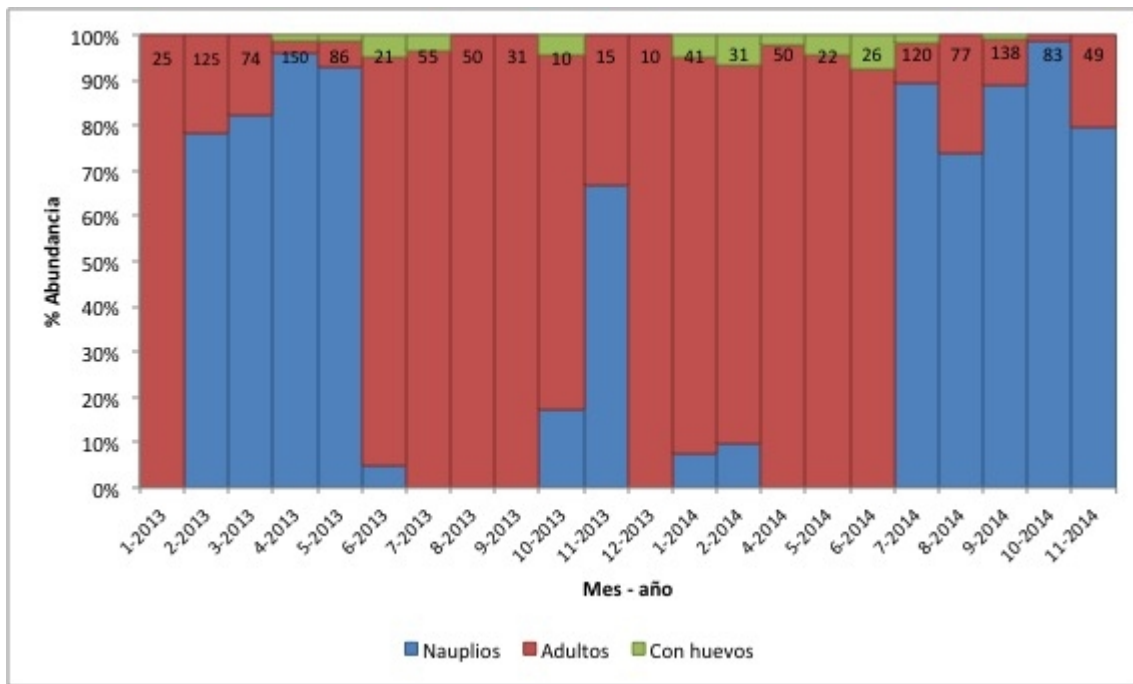


Figura 25. Proporción de copépodos ciclopoideas en estadio juvenil (nauplios), adultos e individuos que presentan huevos en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.

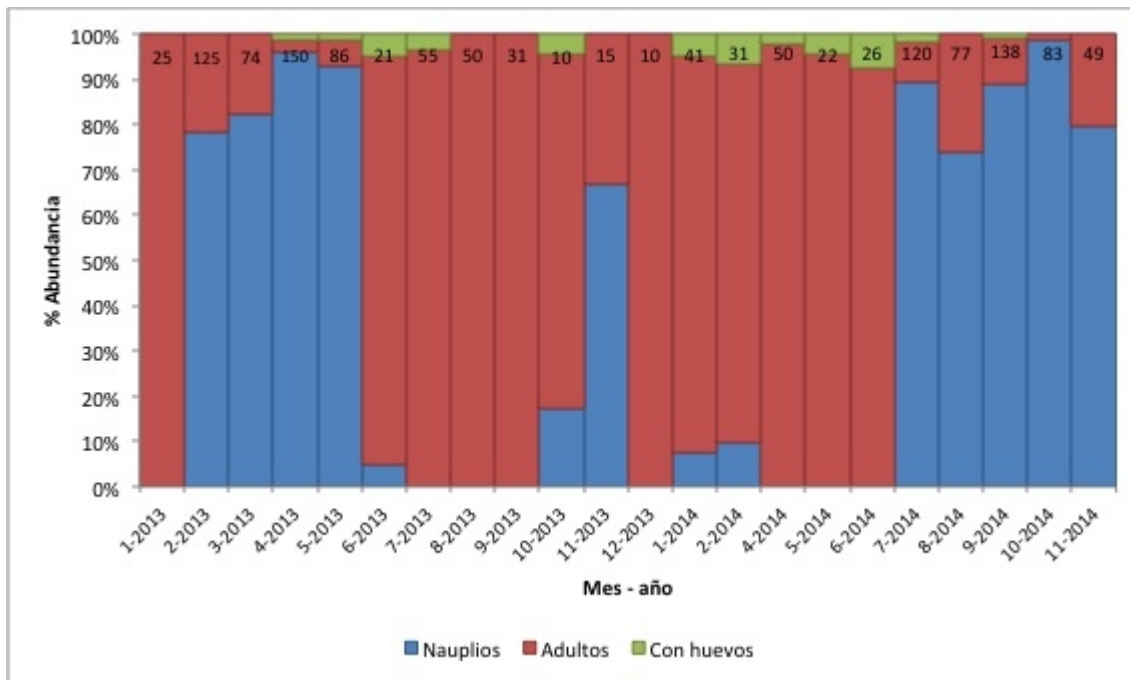


Figura 26. Proporción de copépodos ciclopoideos en estadio juvenil (nauplios), adultos e individuos que presentan huevos en Santiago Atitlán (derecha). El número indica los individuos contados.

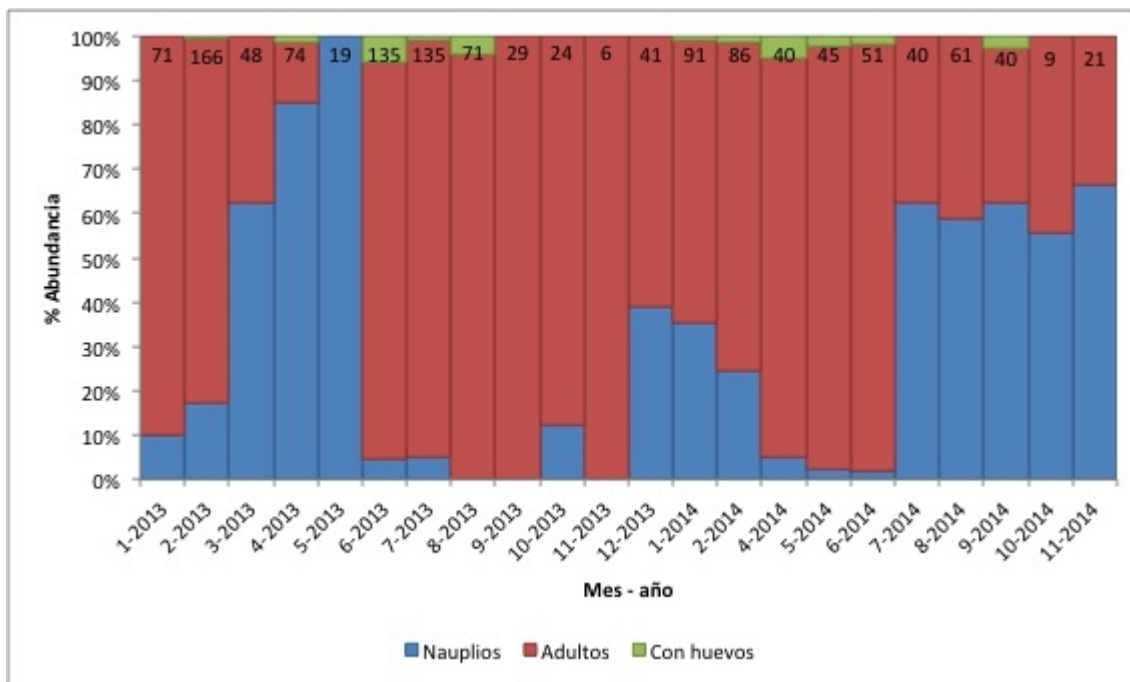


Figura 27. Proporción de copépodos calanoides en estadio juvenil (nauplios) y organismos que presentan huevos en el Centro Weiss G. El número indica los individuos contados.



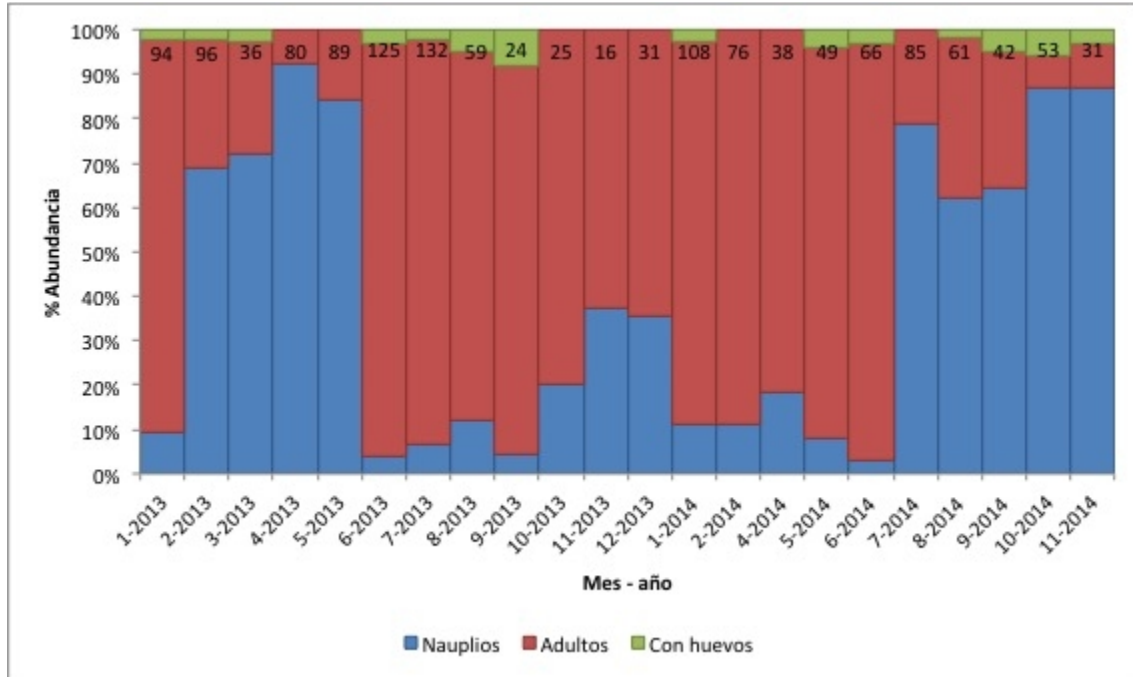


Figura 28. Proporción de copépodos calanoides en estadio juvenil (nauplios) y organismos que presentan huevos en Santiago Atitlán (derecha). El número indica los individuos contados.

En el caso de la población de copépodos calanoides, se observa el mismo patrón donde la mayoría de los individuos son más abundantes durante los mismos meses (figuras 27 y 28). El mes que reporta una mayor abundancia de individuos con huevos es en el mes de junio 2013, mes donde la mayoría de los individuos son adultos.

### 7.3. Análisis exploratorio de datos

#### 7.3.1. Índice de Shannon:

Con el programa estadístico PAST se calculó el índice de Shannon con las abundancia por taxones. Los intervalos de confianza se calcularon utilizando el método bootstrap con 1000 repeticiones. En la figura 29 se observa que en enero de 2013 y mayo de 2014 los valores estimados del índice para el fitoplancton del Centro Weiss G, no están dentro del rango

del intervalo de confianza. En los meses de enero a marzo 2013 y febrero 2014 se obtienen los valores más bajos. Se observa un valor bajo de entropía en los primeros meses de ambos años, aumentando a partir de los meses de abril. Los valores más altos se registran en los meses de mayo y junio 2014.

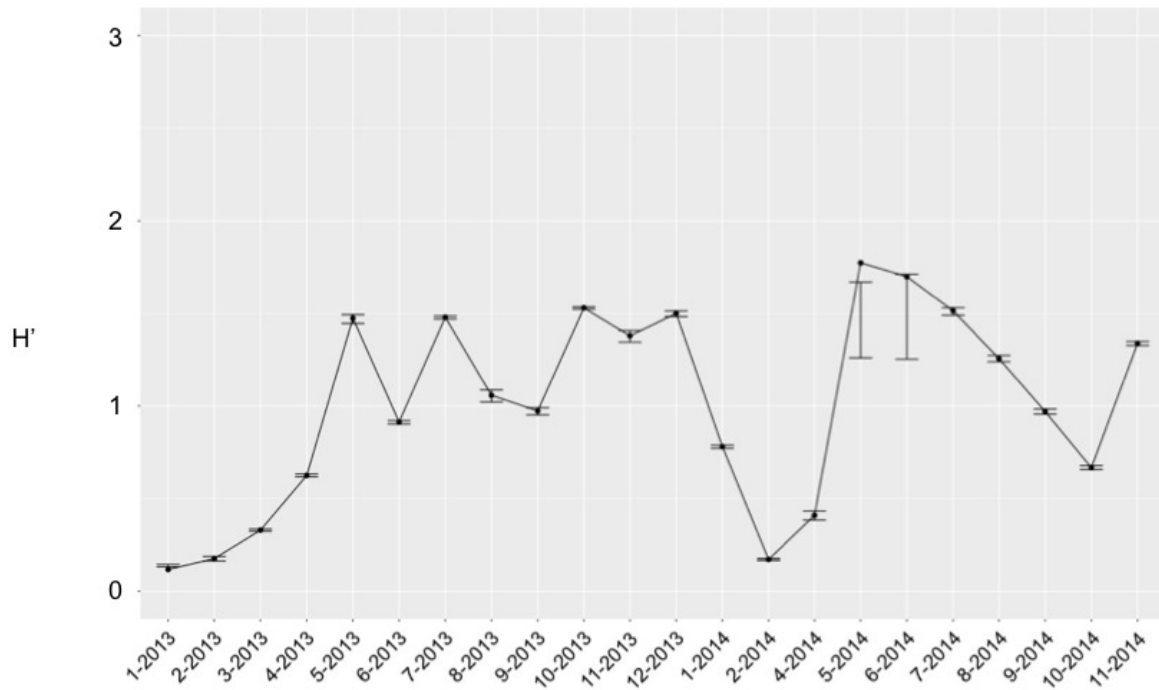


Figura 29. Índice de Shannon para el fitoplancton en el Centro Weiss G. Intervalos de confianza con método bootstrap 95%.

En la figura 30 se observa que los valores estimados para el fitoplancton de Santiago Atitlán se encuentran dentro de los intervalos de confianza y, al igual que en el Centro Weiss G, los valores más bajos se observan en enero, noviembre y diciembre 2013 y en los meses de febrero y abril 2014.

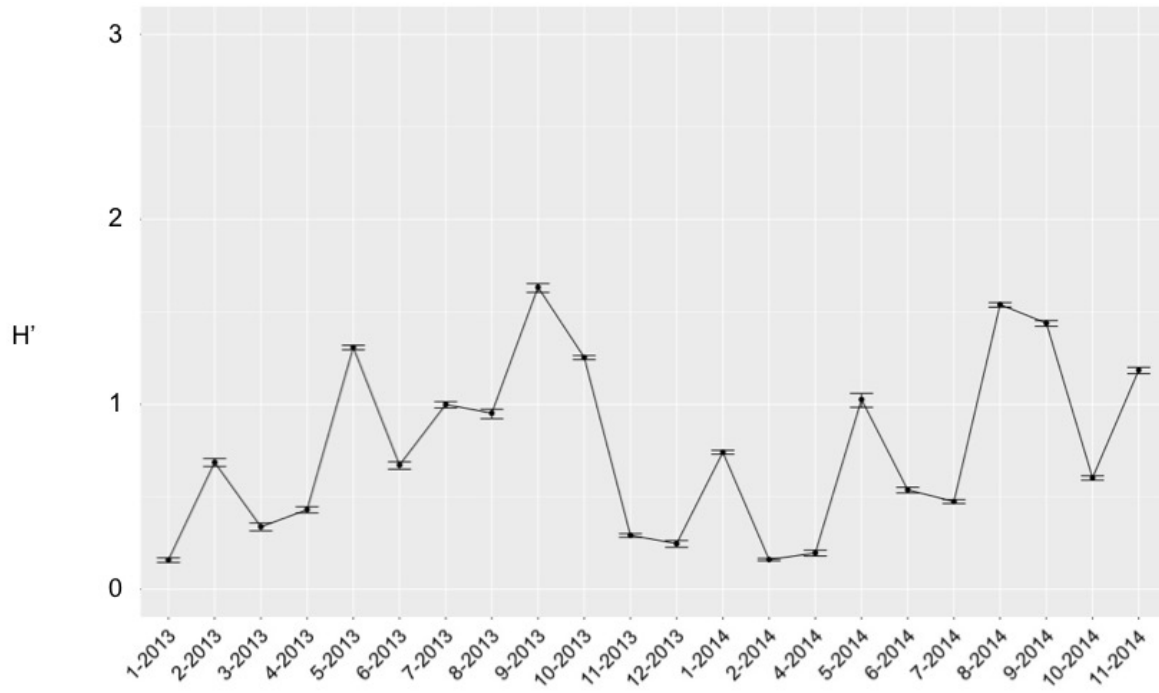


Figura 30. Índice de Shannon para el fitoplancton en Santiago Atitlán. Intervalos de confianza con método bootstrap 95%.

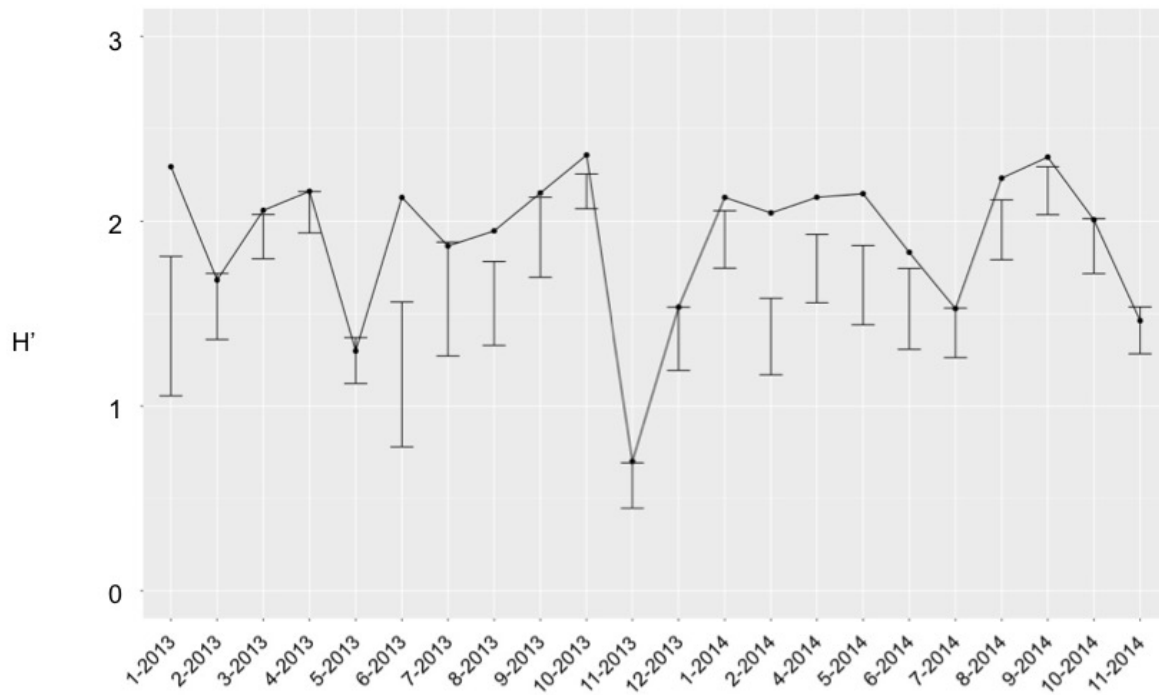


Figura 31. Índice de Shannon para el zooplancton en el Centro Weiss G. Intervalos de confianza con método bootstrap 95%.

En general, se observa que los valores son más altos que los obtenidos para el fitoplancton (figuras 31 y 32). Sin embargo, el estimado de entropía para el zooplancton está fuera de los intervalos de confianza calculados.

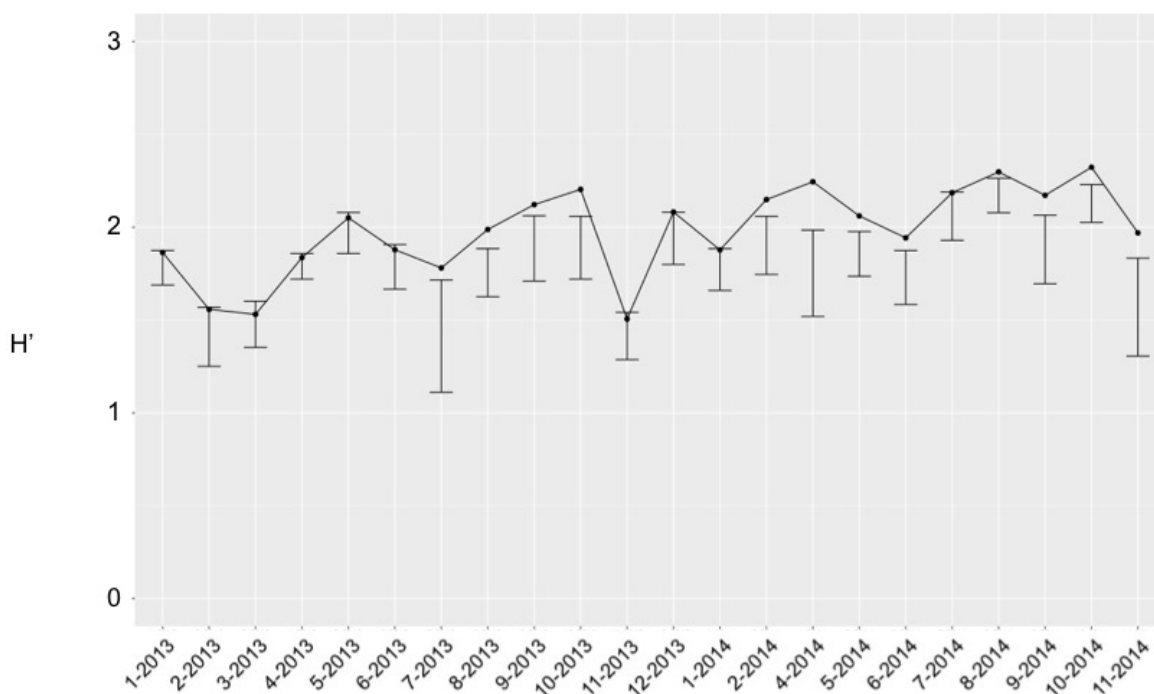


Figura 32. Índice de Shannon para el zooplancton en Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014. Intervalos de confianza con método bootstrap 95%.

### 7.3.2. Números de Hill

Con el programa estadístico R se calcularon los números de Hill para obtener el número efectivo de taxones de cada muestra. El primero ( $N_0$ ) indica el número de taxones que hay de fitoplancton y de zooplancton en cada unidad experimental. El número de Hill en primer orden ( $N_1$ ) se obtiene con el exponencial del índice de Shannon ( $e^{H'}$ ), indica el número efectivo de especies comunes que se hubieran encontrado en la muestra, si todas hubieran sido igual de comunes. El número de Hill en segundo orden ( $N_2$ ), se obtiene con el recíproco del índice de Simpson ( $1/\lambda$ ), este indica el número efectivo de taxones dominantes en la muestra (Hill, 1973, p. 429)

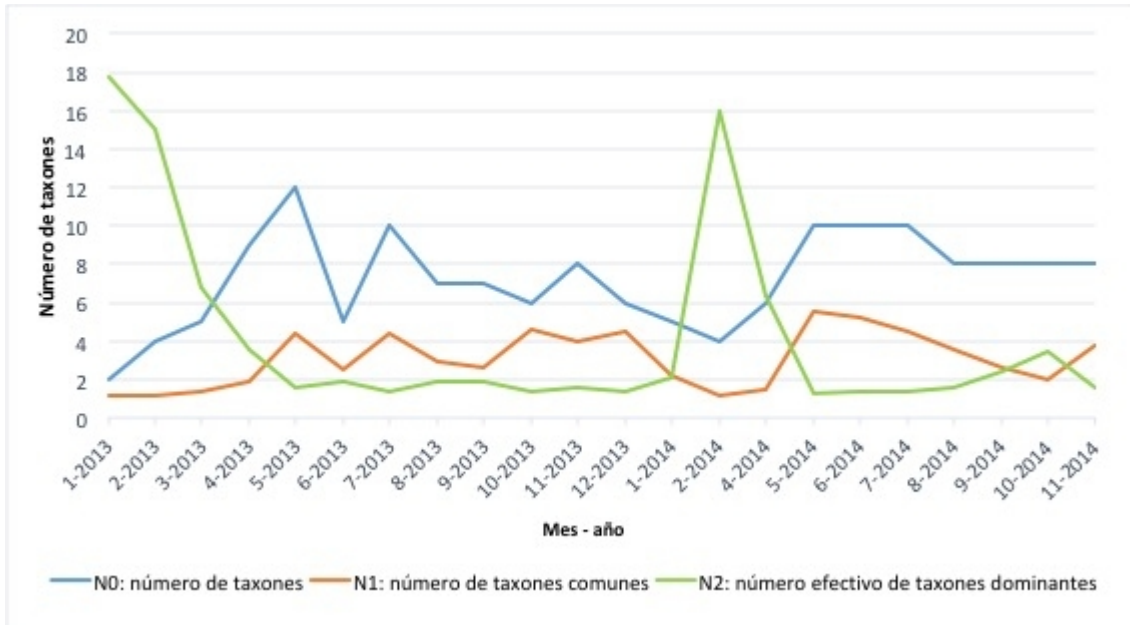


Figura 33. Números de Hill del fitoplancton en el Centro Weiss G durante el 2013 y 2014.

Según los números de Hill, se puede observar que en el Centro Weiss G (figura 33), la mayoría de los meses los géneros del fitoplancton son comunes. Sin embargo, se observa que el número efectivo de taxones dominantes (N2) es mucho mayor al número de taxones encontrados (N0) y los taxones comunes (N1) en los primeros meses de ambos años, indicando que hay dominancia de los géneros presentes. Esto ocurre en los meses cuando la riqueza (N0) muestra los valores más bajos. Los valores de riqueza (N0) más altos corresponden con los valores de N2 más bajos, cuando hay menos dominancia de taxones.

En el caso del fitoplancton de Santiago Atitlán (figura 34), los números de Hill indican un comportamiento parecido, cuando la dominancia (N2) aumenta en enero del 2013 y en los meses de noviembre 2013 y febrero a abril 2014. Los valores de dominancia (N2) más altos son cuando los de riqueza (N0) son mínimos como ocurre en el Centro Weiss G. Los valores de riqueza (N0) son más altos cuando se presentan los valores del número efectivo de taxones dominantes (N2) son menores, en los meses de mayo,

septiembre 2013 y septiembre 2014.

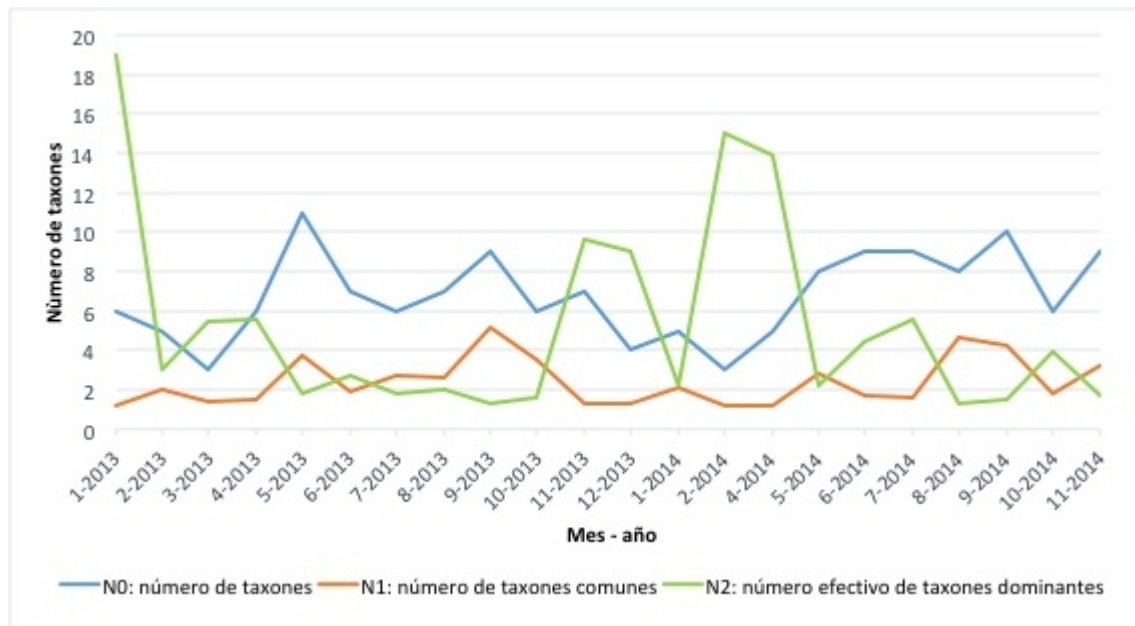


Figura 34. Números de Hill del fitoplancton en Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

El zooplancton muestra un comportamiento diferente. No se observa dominancia de algún taxón en ambos sitios, como se observa con el fitoplancton, y no varía tanto a través del tiempo. En el Centro Weiss G (figura 35) se observa el valor más alto de número de taxones (N0) de julio a noviembre 2014 y el valor más alto de taxones dominantes (N1) en octubre 2013 y septiembre 2014. En noviembre de 2013 se observa que hay dominancia de un taxón.

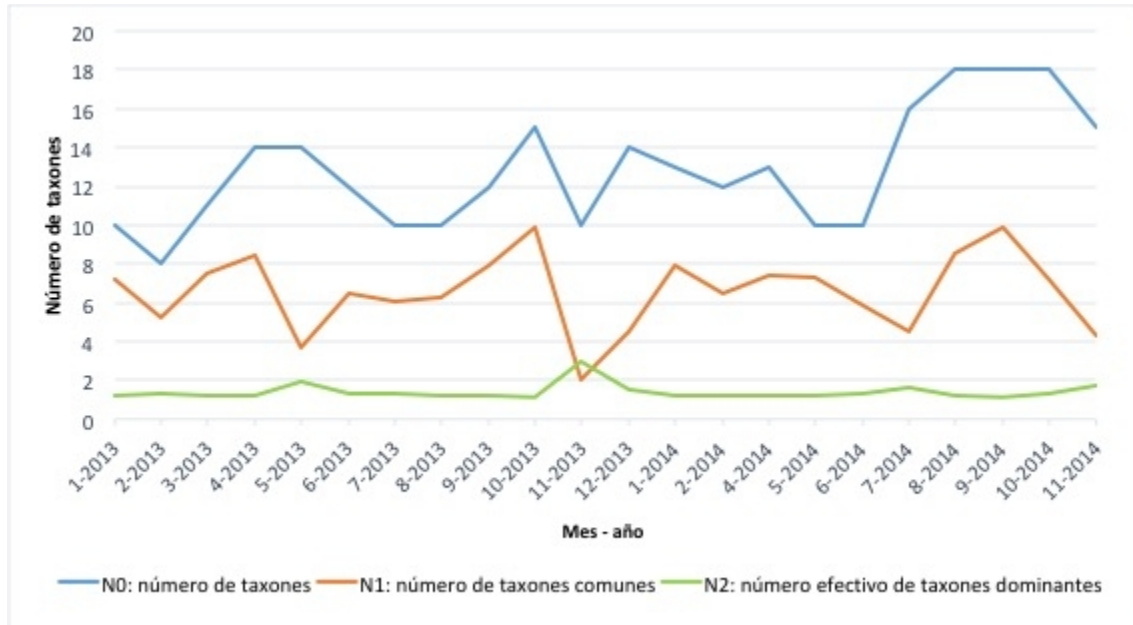


Figura 35. Números de Hill del zooplancton en el Centro Weiss G durante el 2013 y 2014.

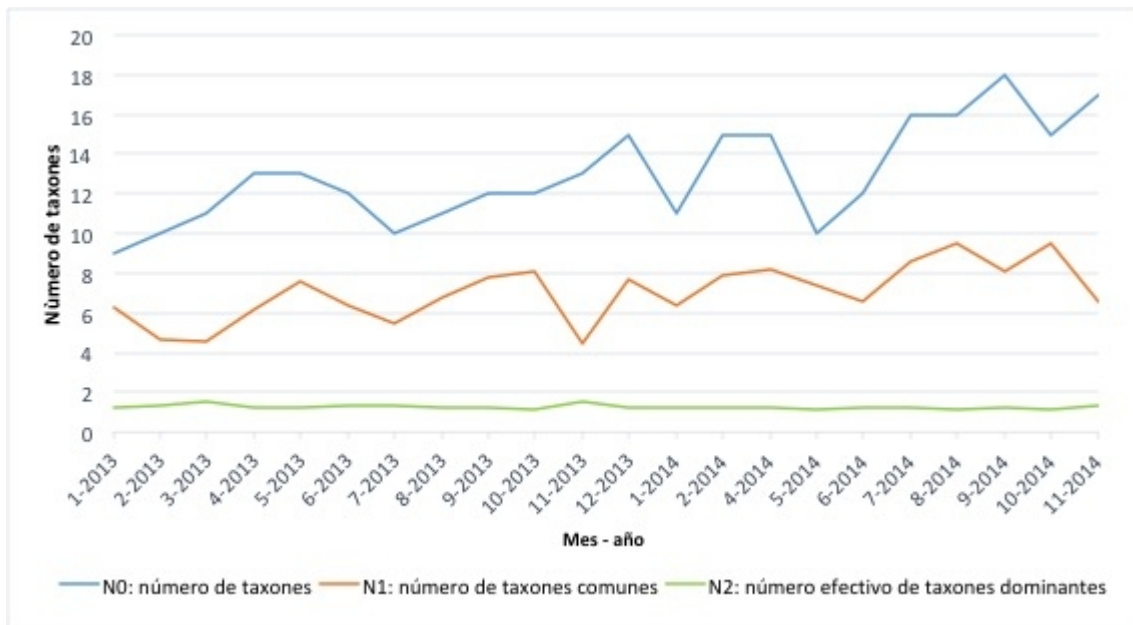


Figura 36. Números de Hill del zooplancton en Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

En Santiago Atitlán (figura 36) se observa que hay menos variación de riqueza y diversidad a través del tiempo a comparación del Centro Weiss G y del fitoplancton. Los valores más altos de riqueza (N0) y de número de

taxones comunes (N1) ocurren en los últimos meses del 2014. No se observa dominancia de algún taxón.

#### 7.4. Estructuras de las comunidades del fitoplancton y zooplancton



Figura 37. Temperatura promedio del agua en los sitios Centro Weiss G (C-WG) y Santiago Atitlán (SA) durante los años 2013 y 2014, CEA.

Se observa que la temperatura promedio de la columna de agua tiene un comportamiento similar en ambos sitios. Los valores mínimos en los meses de enero y febrero de ambos años. Los valores máximos varían entre ambos sitios, ya que en agosto y octubre 2013 y octubre 2014 son en el Centro Weiss G y los meses de julio a agosto, noviembre 2013 y julio y septiembre 2014 para Santiago Atitlán (figura 37).

La velocidad del viento promedio aumenta en los meses de enero a mayo 2013 y enero a abril 2014 (figura 38). En mayo 2014 se observa un comportamiento anormal donde disminuye a 2.5 km/h.



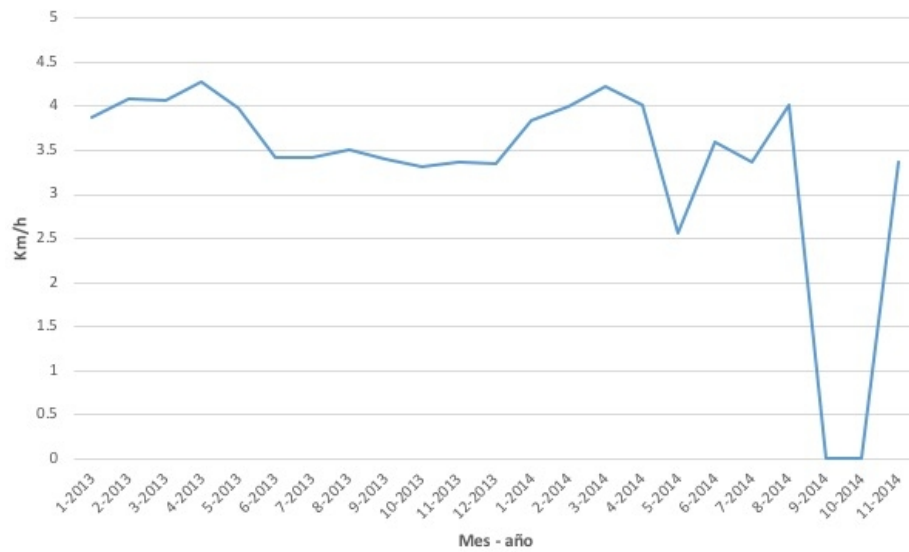


Figura 38. Velocidad del viento promedio de la estación Santiago Atitlán, INSIVUMEH.

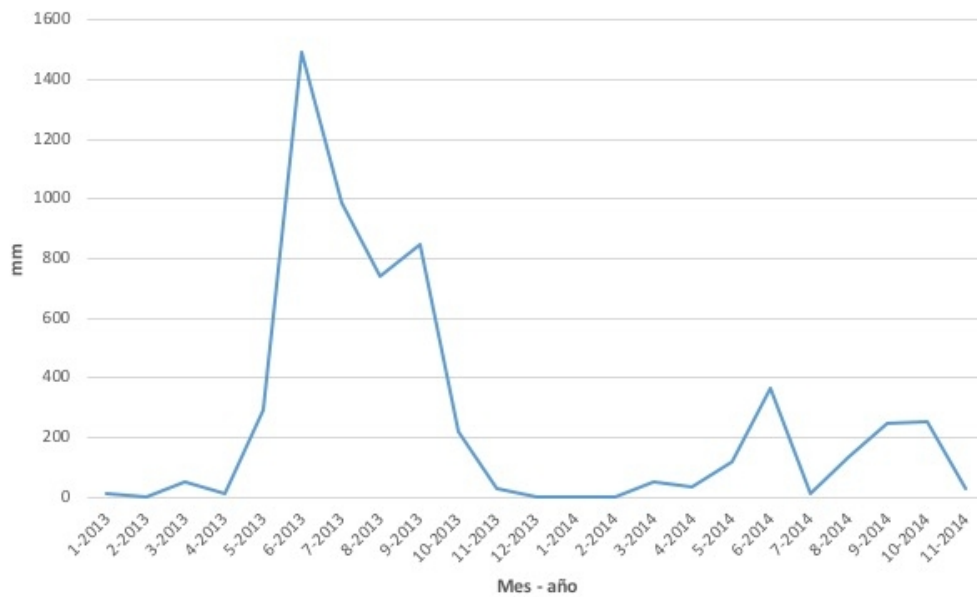


Figura 39. Lluvia acumulada por mes de la estación Santiago Atitlán, INSIVUMEH.

La época de lluvia del año 2013 ocurrió desde mayo a octubre (figura 39), con un pico en el mes de junio, superando los 1400 mm de precipitación acumulada. En el año 2014 la época de lluvia ocurrió en dos periodos, el primero de mayo a junio (mes con mayor cantidad de lluvia acumulada en este año) y de agosto a octubre. Se observa que la precipitación ocurrida en el 2014 no alcanzó los 400 mm.

#### 7.4.2. Análisis de componentes principales

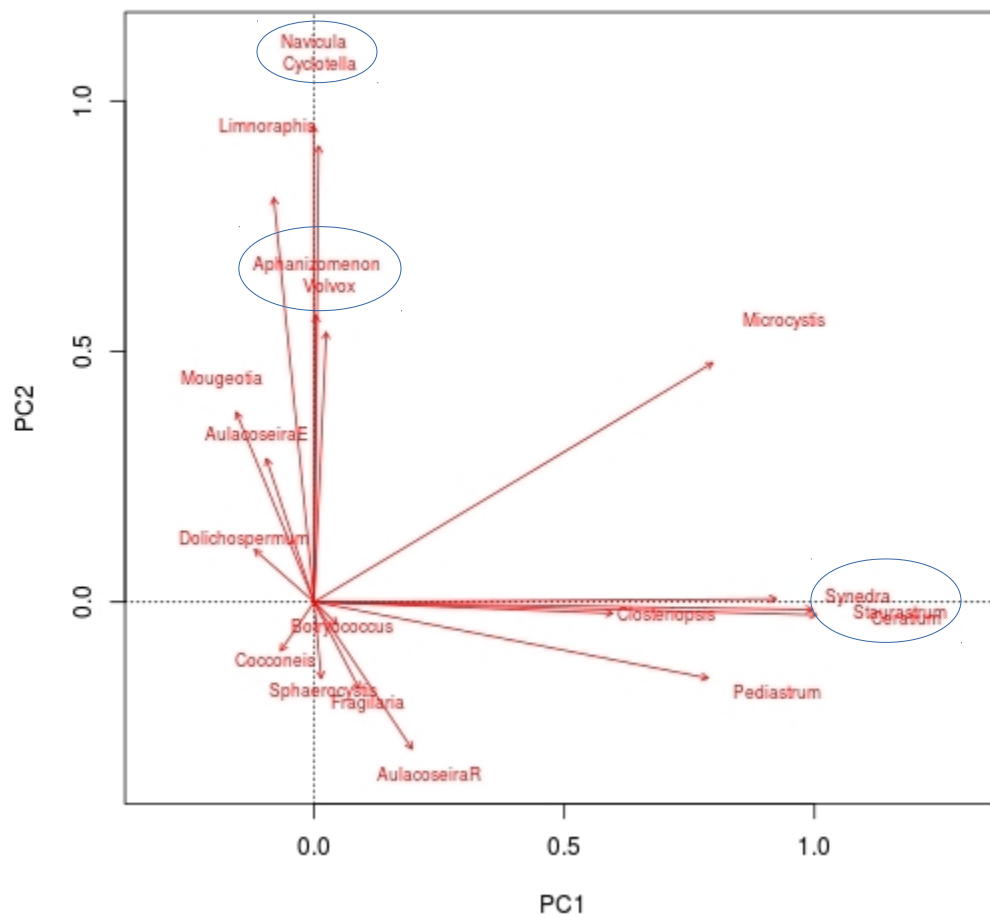


Figura 40. Análisis de componentes principales de las abundancias del fitoplancton (rojo) de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

En el análisis de componentes principales de las abundancias del fitoplancton (figura 40) la varianza se explica solamente en un 40% con el componente principal 1 y 2. El componente principal 1 (PC1) aporta un 22% de la varianza de la comunidad y los géneros que se relacionan más a este eje son *Ceratium*, *Staurastrum* y *Synedra*. El componente principal 2 (PC2) aporta un 18% de la varianza y los géneros que se relacionan más a este eje son *Navicula*, *Cyclotella* y *Aphanizomenon*.

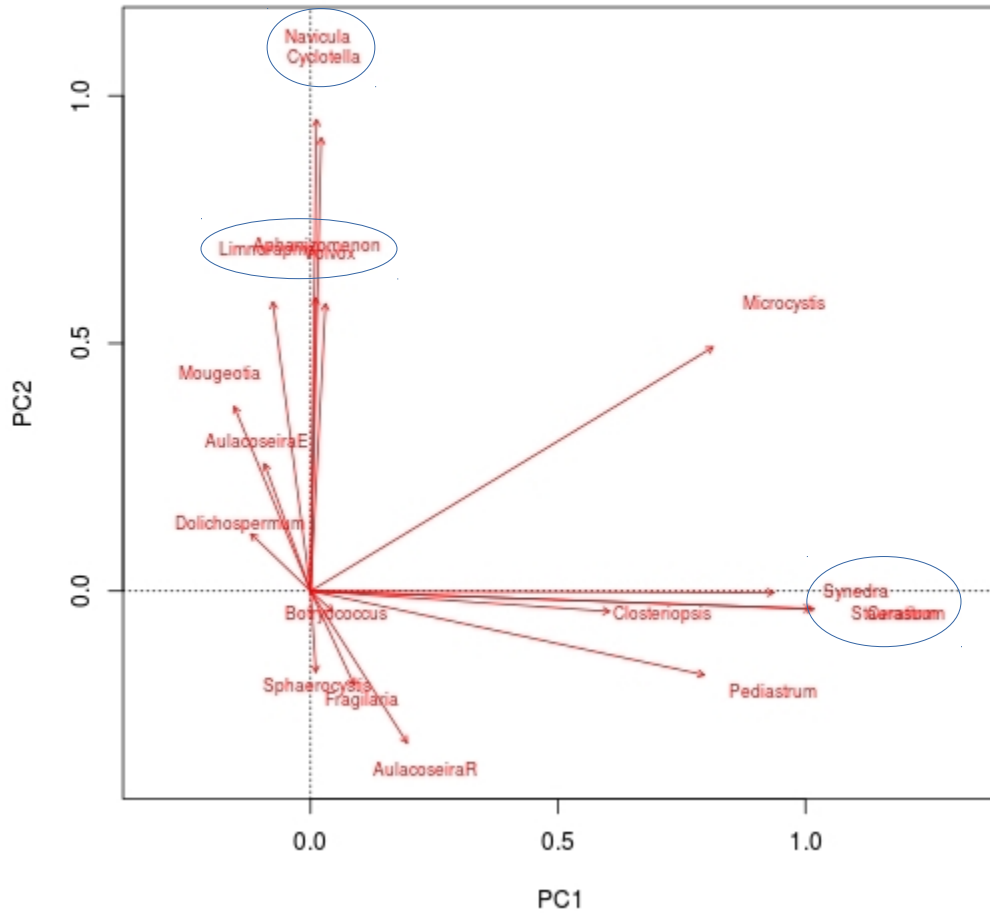


Figura 41. Análisis de componentes principales del biovolumen del fitoplancton (rojo) de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

El análisis de componentes principales de los biovolúmenes del fitoplancton (figura 41) se observa un comportamiento muy similar. La varianza se explica en un 40% con el componente principal 1 y 2. El componente principal aporta un 23% y el componente principal 2 un 17%, ambos con los mismos géneros asociados en las abundancias. En el caso del biovolumen, *L. robusta* se agrupa con *Aphanizomenon* y *Volvox*, diferenciándose de *Navicula* y *Cyclotella*. Se observa una correlación negativa entre la diatomea *A. granulata* (recta) y *A. granulata* (espiral). La cianobacteria *Microcystis* es un género que tiene un comportamiento diferente.

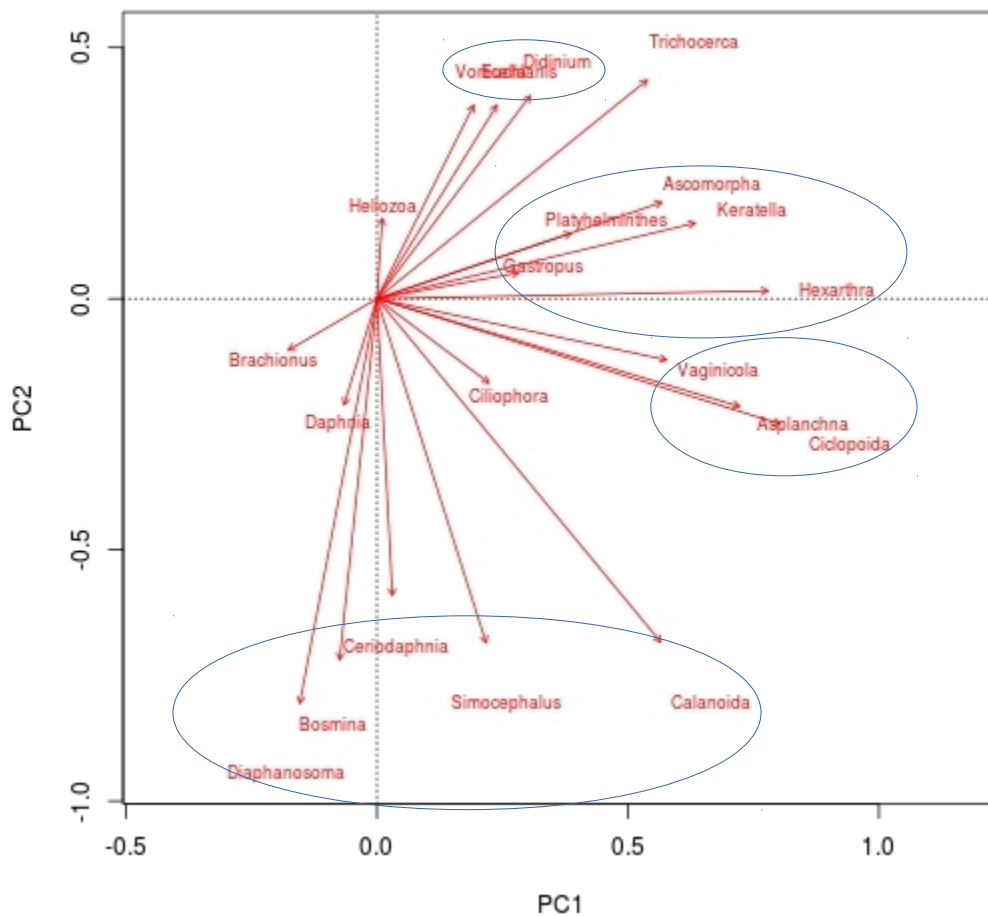


Figura 42. Análisis de componentes principales de las abundancias del zooplancton (rojo) de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

El análisis de componentes principales de las abundancias del zooplancton (figura 42) la varianza se explica en un 35% con el componente principal 1 y 2. El componente principal 1 aporta un 19% y los taxones asociados son los copépodos Ciclopoida, *Hexarthra* y *Asplanchna*. El componente principal 2 aporta un 16% y los taxones asociados son *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Simocephalus* y los copépodos Calanoida.

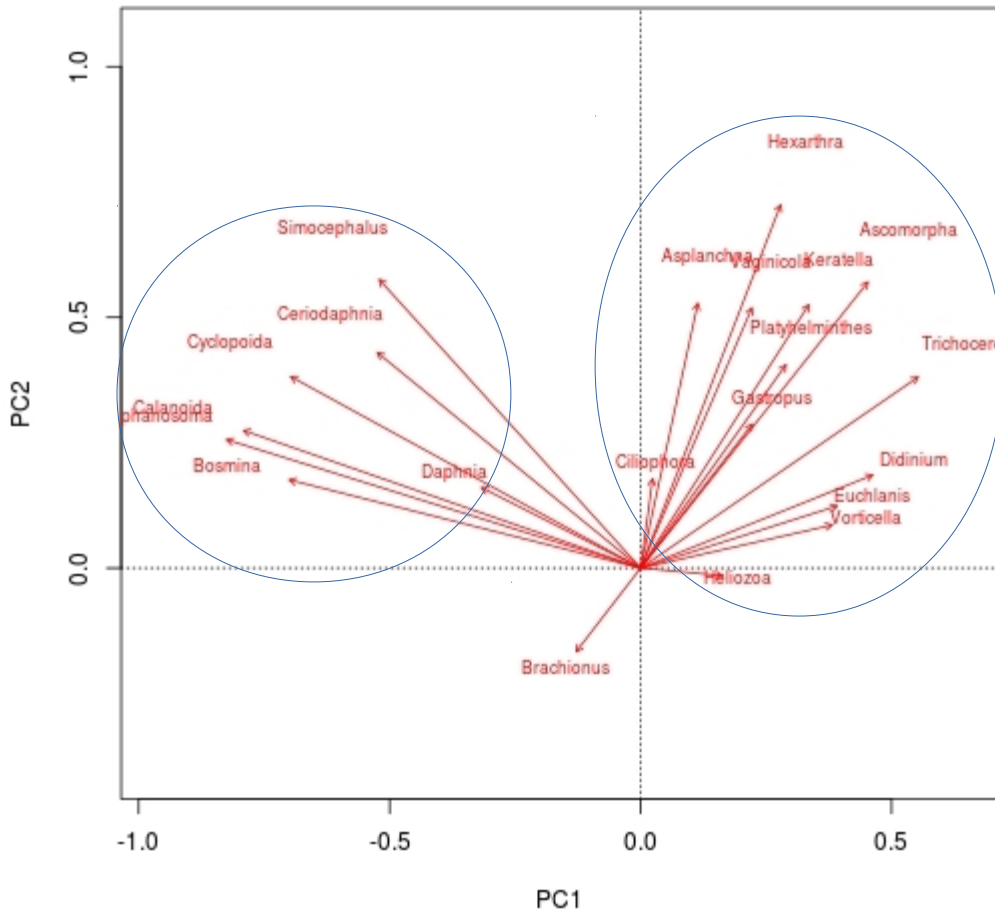


Figura 43. Análisis de componentes principales de los biovolúmenes del zooplancton (rojo) de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

El análisis de componentes principales de los biovolúmenes del zooplancton (figura 43) se explica en un 35% con el componente principal 1 y 2. El componente principal 1 aporta un 21% y los taxones asociados son *Diaphanosoma*, los copépodos Calanoida y *Bosmina*. El componente principal 2 aporta un 14%. y los taxones asociados son *Hexarthra*, *Ascomorpha*, *Simocephalus*. En el caso del zooplancton, se observan diferentes ordenaciones entre la abundancia y el biovolumen. En el caso del biovolumen, los cladóceros están en un mismo grupo, incluyendo a los copépodos. En otro grupo se encuentra el resto de los organismos, a excepción del rotífero *Brachionus*, que presenta un comportamiento

diferente al resto de los taxones del zooplancton.

#### 7.4.2. Análisis de correspondencia canónica

Se realizó un análisis de correspondencia canónica entre las abundancias del zooplancton y el fitoplancton para evaluar las relaciones entre las estructuras de los taxones de ambas comunidades durante el 2013 y 2014.

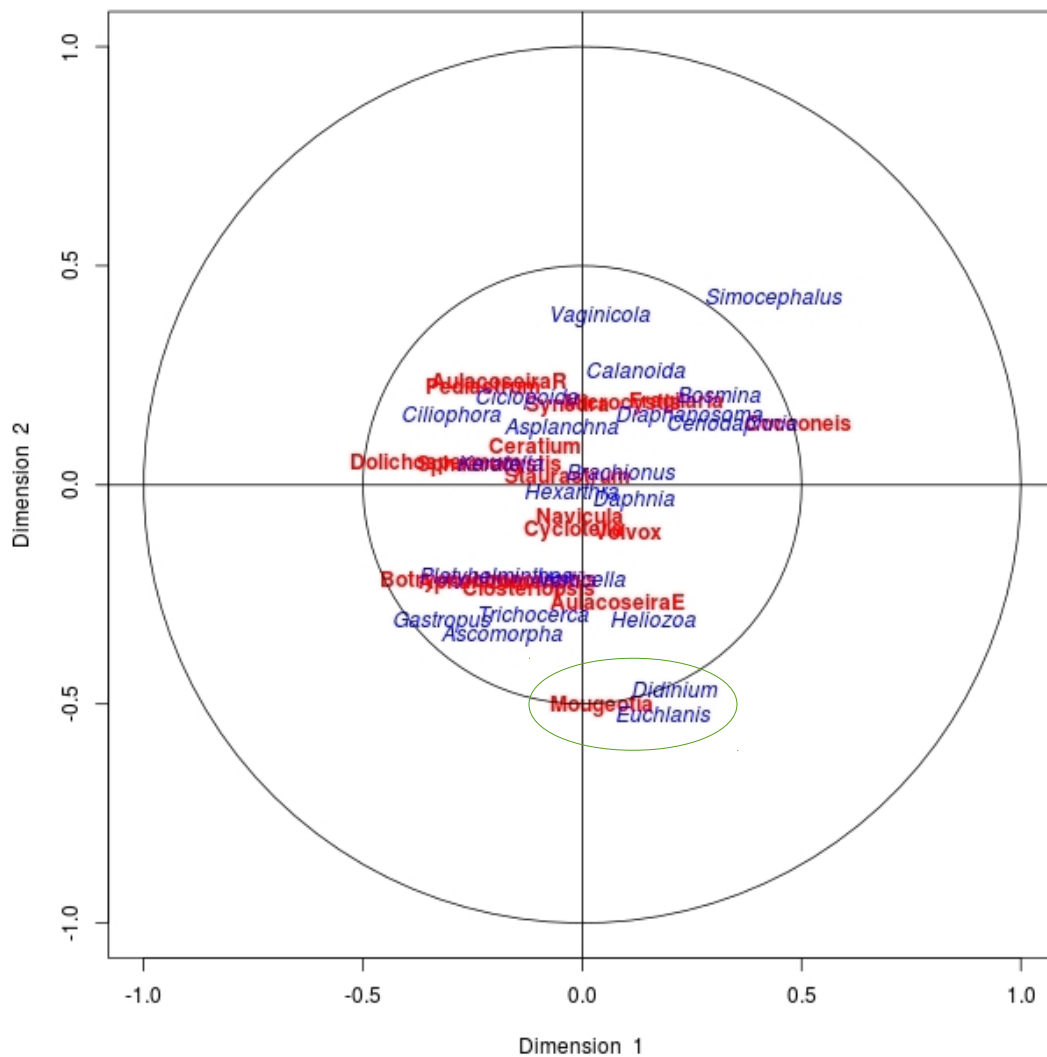


Figura 44. Análisis de correspondencia canónica de las estructuras de las comunidades del fitoplancton (rojo) y del zooplancton (azul) de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

En la figura 44 se observan las relaciones que existen entre los taxones del fitoplancton y los del zooplancton. El único taxón que sobrepasa el 50% es el cladócero *Simocephalus*, sin embargo su comportamiento no se encuentra relacionado con ningún otro taxón, siendo el ciliado *Vaginicola* el más cercano. El grupo que contiene a la Charophyta, *Mougeotia*, el ciliado *Didinium* y el rotífero, *Euchlanis*, está relacionado un 50% con la segunda dimensión. Se observa el grupo que contiene al fitoplancton: *Botryococcus*, *Closteriopsis*, *A. granulata* (espiral), *Aphanizomenon* y *L. robusta*; y al zooplancton: Platyhelminthes, *Vorticella*, *Trichocerca*, *Gastropus*, *Ascomorpha* y Heliozoa. El último grupo está conformado por el fitoplancton: *A. granulata* (recta), *Pediastrum*, *Synedra*, *F. crotonensis*, *Sphaerocystis*, *Cocconeis*, *Ceratium*, *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Staurastrum*, *Navicula*, *Cyclotella* y *Volvox*; y al zooplancton: Calanoida, Ciclopoida, Cilliophora, *Asplanchna*, *Bosmina*, *Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia*, *Keratella*, *Brachionus*, *Hexarthra* y *Daphnia*.

No se observa ningún patrón que agrupe a las observaciones por sitios según el comportamiento de las comunidades del fitoplancton y del zooplancton durante los años 2013 y 2014 (figura 45).

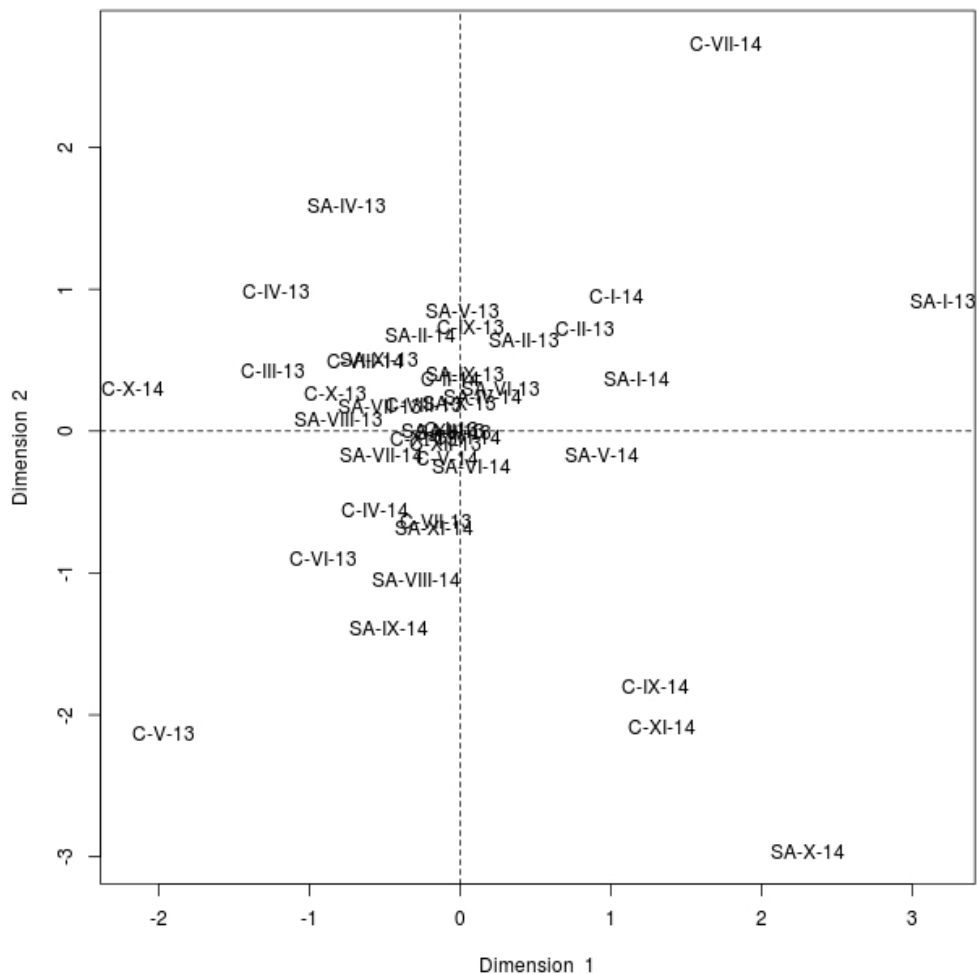


Figura 45. Análisis de correspondencia canónica de las estructuras de las comunidades del fitoplancton y del zooplancton, de los sitios Centro Weiss G y Santiago Atitlán durante el 2013 y 2014.

## 7.5. Asociaciones entre el fitoplancton y el zooplancton

### 7.5.1. Correlación de abundancias

El análisis de correlación de Spearman entre las abundancias del fitoplancton y las del zooplancton muestran las relaciones entre las abundancias de los taxones.



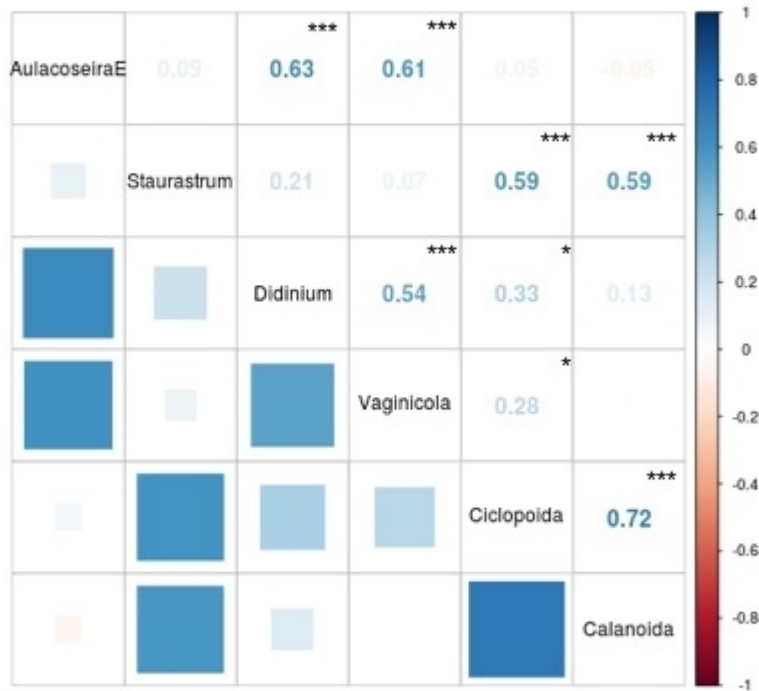


Figura 37. Correlación de Spearman de la abundancia del fitoplancton con abundancia del zooplancton. Se muestran solamente los valores de  $\rho$  mayores a 0.5.

Significancia: \*\*\* = 0.001, \*\* = 0.01, \* = 0.05.

En la figura 37 se observa que el valor de  $\rho$  más alto es el de los copépodos Ciclopoida y Calanoida (0.72), seguido por la diatomea *A. granulata* (espiral) con el ciliado *Didinium* (0.63), *Vaginicola* (ciliado) también se relaciona con *A. granulata* (espiral) con un valor de 0.61 (figura 38). La clorofita *Staurastrum* tiene un valor de  $\rho = 0.59$  con los copépodos calanoides y ciclopoides.



Figura 38. Fotografía de *Aulacoseira granulata* como sustrato de *Vaginicola* (400x).

Se observó otras relaciones al momento de realizar el conteo, que no se ve reflejado en el análisis de correlación, pero se encuentran agrupados en el análisis de correspondencia canónica. Entre estos la preferencia de *Vorticella* por *L. robusta* como sustrato (Figura 39).



Figura 39. Fotografía de *Limnoraphis robusta* como sustrato de *Vorticella* (400x).

También se observó ciliados que estaban ingiriendo filamentos de *L. robusta* o con pequeños segmentos en el citoplasma (figura 40).



Figura 40. Fotografía de ciliado ingiriendo un filamento de *Limnoraphis robusta* (400x).

### 7.5.2. Correlación de biovolúmenes

El análisis de correlación de Spearman entre los biovolúmenes del fitoplancton y del zooplancton muestran las relaciones entre los biovolúmenes de los taxones.

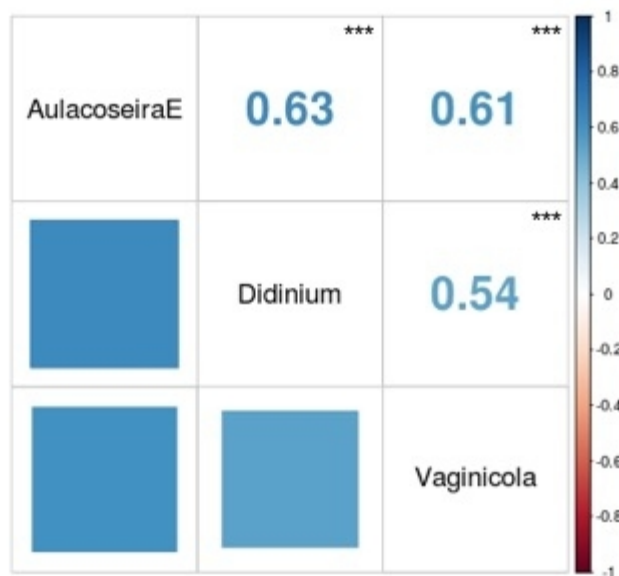


Figura 41. Correlación de Spearman del biovolumen fitoplancton con biovolumen zooplancton. Se muestran solamente los valores de  $p$  mayores a 0.5.

Significancia: \*\*\* = 0.001, \*\* = 0.01, \* = 0.05.

En la figura 41 se observa que hay una relación entre estos tres géneros, donde el valor de  $\rho$  más alto está en la relación de la diatomea *A. granulata* (espiral) con el ciliado *Didinium* (0.63), seguido por un valor de 0.61 con el ciliado *Vaginicola*. Además, existe una relación con un  $\rho$  de 0.54 entre estos dos ciliados.

### 7.5.3. Correlación con la reproducción del zooplancton

Cuadro 10. Correlación de Spearman entre la riqueza del fitoplancton y la abundancia del zooplancton en reproducción

Zooplancton en reproducción	Riqueza
<i>Brachionus</i>	-0.3633839 *
<i>Keratella</i>	-0.1281019
<i>Ceriodaphnia</i>	0.1386889
<i>Bosmina</i>	-0.231969
<i>Diaphanosoma</i>	-0.1618428
<i>Simocephalus</i>	0.2224929
<i>Daphnia</i>	0.003578087
Cyclopoida	0.04847898
Calanoida	-0.3022903

\*Significancia 0.05

Se realizó un análisis de correlación entre la riqueza del fitoplancton con la abundancia de individuos del zooplancton que estaban en reproducción. En la figura 42 se observa que no existe correlación, el valor máximo de  $\rho$  reportado es de -0.36 con el rotífero *Brachionus*.

Se realizó un análisis de correlación entre la abundancia del fitoplancton y la abundancia del zooplancton que presentó huevos (cuadro 10). En la figura 42 se observa que hay una correlación positiva con un valor de  $\rho$  de 0.59 entre la diatomea *Cocconeis* y el cladóceros *Daphnia*.

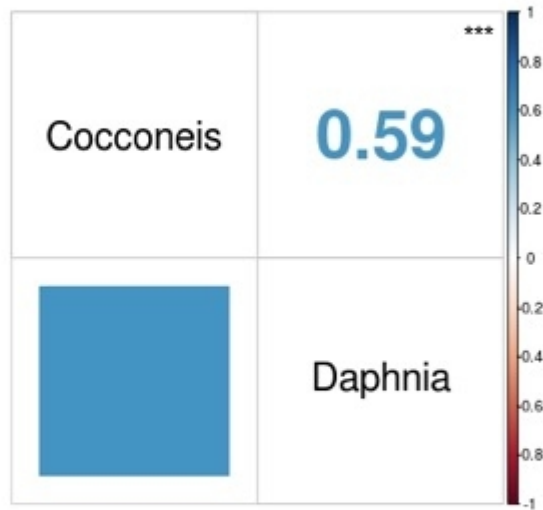


Figura 42. Correlación de Spearman de la abundancia del fitoplancton con zooplancton en reproducción. Se muestran solamente los valores de  $\rho$  mayores a 0.5.

Significancia: \*\*\* = 0.001, \*\* = 0.01, \* = 0.05.

## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1. Comunidades del fitoplancton y zooplancton

Al comparar las abundancias del fitoplancton y del zooplancton entre ambos sitios, no se observa una diferencia (figuras 1 y 2). Sin embargo, Weiss (1973) encontró que las estaciones más someras y cercanas a asentamientos humanos Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán, tenían mayor abundancia que los sitios lejanos y más profundos, esto probablemente debido a que tengan mayor disponibilidad de nutrientes.

Durante los meses de enero 2013 y febrero de 2014 se registran las mayores abundancias durante el tiempo muestreado en el Centro Weiss G (figura 1). En ambos sitios hay una dominancia de *A. (recta)* de más del 90% de abundancia y biovolumen (figura 3, 4, 5 y 6). En esos meses se presentan los valores más bajos de abundancia del zooplancton (figura 2), está compuesto principalmente por copépodos calanoides (figuras 7, 8 y 9) y *Keratella* en la densidad relativa de Santiago Atitlán (figura 10). Marzo 2013, a pesar de tener aproximadamente la misma abundancia relativa de *A. granulata* (recta), es más abundante y diverso en comparación de los meses descritos anteriormente y el índice de Shannon es mayor (figura 21). El zooplancton está dominado por *Vorticella* en abundancia, copépodos calanoides en el biovolumen del Centro Weiss G y *Simocephalus* en Santiago Atitlán (figuras 9 y 10). Estos sugieren que la dominancia de la diatomea no afecta la composición del zooplancton en gran medida.

En febrero de 2013 hay un cambio en la dominancia de *A. granulata* por *F. crotonensis*, posiblemente por deficiencia de sílice (Reynolds et al, 2002, p.420) como fue sugerido por Ochaeta (2014), aunque en Santiago Atitlán hay dominancia de biovolumen de *Ceratium*. En este mes aumenta la diversidad y disminuye el número efectivo de taxones dominantes (figuras 24 y 25). El

zooplancton aumenta en abundancia y biovolumen en el Centro Weiss G (figura 26), mientras disminuye en Santiago Atitlán (figura 27). Esto podría explicarse por las particularidades de ambos sitios, ya que Santiago Atitlán es menos profundo y al tener influencia de los vientos, se mezcla más fácilmente (Weiss, 1971, p. 72), lo que permite mayor disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton. Además en este sitio hay mucha vegetación y por consiguiente, se concentran los peces, lo que podría causar la disminución en la abundancia y biovolumen del zooplancton al ser alimento de los peces.

En el Centro Weiss G (figura 3), los meses de dominancia de *Microcystis* en abundancia entre junio a septiembre 2013 y de *Closteriopsis* de junio a noviembre 2014 (con excepción de julio donde domina *A. granulata*), se ven ocultados por *L. robusta* al tener dominancia en relación al biovolumen (figura 4), lo que se observa de junio a diciembre 2013 y mayo a noviembre 2014. Sin embargo, el biovolumen en ambos periodos de tiempo es diferente (figura 1), en junio 2013 se registra el pico mayor y en mayo 2014 el pico menor con el valor más alto del índice de Shannon (figura 20). El número de taxones comunes (N1) presentan los valores más altos y el número efectivo de especies abundantes (N2) registran los valores más bajos durante estos periodos (figura 24). Este cambio en la diversidad del segundo periodo (2014) se explica en la diferencia de las abundancias, ya que se ven más géneros representados. Este fenómeno ocurre debido a que las cianobacterias tienen ventaja sobre el resto del fitoplancton al tener la capacidad de reproducirse más rápidamente. Durante estos periodos se observa un cambio en la dominancia del zooplancton (figura 7). Al inicio dominan los calanoides, luego domina el ciliado *Vaginicola* y por último el rotífero *Vorticella*.

En Santiago Atitlán, la dominancia de cianobacterias es diferente, ya que de julio a agosto 2013 domina *Aphanizomenon* y *L. robusta* de septiembre a noviembre 2014 (figura 5). Se observa la transición de dominancia de diatomeas a cianobacterias y viceversa en diferentes meses del año. Sin embargo, al analizar

el biovolumen relativo (figura 6), se observa dominancia de *L. robusta* de junio a diciembre 2013, mayo y agosto a noviembre 2014. En relación al zooplancton se observa que en los meses de dominancia de *Aphanizomenon*, hay un cambio gradual de la dominancia de los calanoides a *Vaginicola* y luego a *Vorticella* (figura 9). Este cambio también se observa cuando domina *L. robusta*, con la diferencia que los copépodos son ciclopoideos.

## 8.2. Épocas reproductivas del zooplancton

### 8.2.1. Rotifera

*Brachionus* solamente aparece en el mes de enero y diciembre del 2014 (figura 11), sugiriendo que es un género muy estacional y se ha reportado como dicíclico (Smith, 2001, p. 149). Se reproduce en estos meses, lo que sugiere que los huevos producidos son dormantes y que eclosionan cuando las condiciones son favorables. El hecho que aparezca en estos meses podría indicar que prefiere temperaturas bajas y vientos fuertes (Ochaeta, 2014, p.43). *Keratella* es un género que parece tener preferencia por los meses sin precipitación (figura 12) y con mayor temperatura ambiental. Produce más huevos cuando reaparece, posiblemente por la disponibilidad de alimento.

### 8.2.2. Cladocera

Los cladóceros se reproducen asexualmente y sexualmente, dependiendo de las condiciones ambientales. Se reproducen por partenogénesis la mayoría del tiempo y la mayoría de los huevos o embriones que producen son hembras (Thorp y Covich, 2001, p. 856). La reproducción de *Bosmina*, *Ceriodaphnia* (figura 14) y *Simocephalus* (figura 17) ocurren casi todo el tiempo y no se ven relacionadas a factores ambientales, por lo que estas pueden relacionarse con factores físicos o interacciones con otros



organismos. *Daphnia* (figura 15) es un género poco abundante y se observan pocos organismos con huevos, esto probablemente a la competencia que tiene por alimento con cladóceros más pequeños como *Bosmina*. Ver figura 13 donde *Bosmina* disminuye en los meses que aumenta *Daphnia*.

### 8.2.3. Copepoda

La reproducción de los ciclopoideos disminuye en el intervalo de junio 2013 a junio 2014 (figura 18), siendo estos meses con mayor proporción de adultos y menor abundancia de organismos de este grupo. Esto podría ser causado por baja disponibilidad de alimentos que le permita la reproducción. La temperatura parece ser relevante, ya que en algunos de los meses donde la temperatura del agua aumenta (figura 37), hay más producción de huevos; sin embargo, no ocurre en todos los meses donde se registran los valores más altos, indicando que hay otros factores ambientales que pueden estar afectando, como podría ser la predación (Thorp y Covich, 2000, p. 924). Los calanoides muestran un patrón parecido (figura 19), con la diferencia que en los meses de enero 2014 hay un pico de abundancia de adultos.

### 8.3. Análisis exploratorio de datos

El análisis de entropía según el índice de Shannon, indica que durante el período de muestreo, la comunidad fitoplanctónica del Centro Weiss G cambia de mes a mes, a excepción de los meses de mayo, junio y julio de 2014 (figura 21). Se observa que la biodiversidad alfa disminuye en los primeros meses del año y aumenta en el mes de abril, esto podría ser causado por la disminución de la disponibilidad de micronutrientes. Los números de Hill lo muestran más claramente (figura 24), donde el número efectivo de especies dominantes ( $N_2$ ) tiene los valores más altos en los meses de enero, febrero 2013 y febrero 2014.

En Santiago Atitlán (figura 21), se observan cambios drásticos en el índice de entropía de Shannon del fitoplancton mes a mes a lo largo de ambos años, mientras que en el centro, los cambios tienden a cambiar más paulatinamente. Esto puede deberse a que en este sitio de menor profundidad, y más influenciado por las corrientes del viento, las condiciones de turbulencia cambian más drásticamente en comparación con el centro, que es un sitio más estable. En el caso de los números de Hill (figura 25), al igual que en el Centro Weiss G se muestran valores muy altos del número efectivo de taxones dominantes ( $N_2$ ) en enero 2013 y febrero 2014, mucho más altos que el número de taxones ( $N_0$ ) y el número de taxones comunes ( $N_1$ ). Esto indica dominancia de los géneros encontrados: *A. granulata* (espiral) y *F. crotonensis*; sugiriendo que las condiciones ambientales en esos meses favorecieron a estos géneros como el viento en el caso de *A. granulata* al mantenerlos en la parte superior de la columna de agua (Dix et al, 2012, p. 78).

En el caso del zooplancton, el índice de Shannon no es un buen estimador para la biodiversidad debido a las bajas abundancias obtenidas. Esto puede observarse en las figuras 22 y 23, donde el índice estimado no se encuentra dentro de los intervalos de confianza calculados según el método de bootstrap; además, estos intervalos son mucho más amplios en comparación con los obtenidos con el fitoplancton. Los números de Hill en general muestran que la riqueza ( $N_0$ ) es mayor del zooplancton que el fitoplancton (figura 26), sugiriendo que la comunidad del zooplancton es menos susceptible a variación que la del fitoplancton; posiblemente porque estén menos influenciados por el ambiente y tengan un ciclo de vida más largo. La riqueza y biodiversidad presentan un comportamiento similar en ambos sitios, sin embargo, es menos variable en Santiago Atitlán (figura 27).

#### 8.4. Estructuras de las comunidades del fitoplancton y zooplancton

Los análisis de componentes principales indican que la variación del fitoplancton y

del zooplancton no se explica solamente por el CP1 y CP2. Es posible que las variables ambientales tengan una mayor importancia para explicar el comportamiento de las comunidades.

En el caso de la abundancia del fitoplancton (figura 31), los géneros *Ceratium*, *Staurastrum* y *Synedra*, forman una agrupación que está relacionada al CP1. Una característica que tienen los tres en común es la tolerancia a bajos niveles de nutrientes (Bellinger y Sigee, 2010, p. 27-28; Reynolds, 2006, p. 198, 201), por lo que podría ser la razón de su agrupamiento. En el caso de *Ceratium* y *Staurastrum*, la agrupación podría deberse a que ambos tienen espinas, lo que aumenta la razón de área superficial/volumen y disminuye la tasa de hundimiento (Bellinger y Sigee, 2010, p. 26, Reynolds, 2006, p.24); los meses de mayor abundancia (marzo a mayo 2013 y febrero 2014) son los meses que tienen registro de mayor velocidad del viento (figura 29). Son tolerantes a un aumento de hasta 1 unidad de pH (Reynolds, 2006, p. 229). Estos tres géneros han sido asociados al amonio; sin embargo *Synedra* se encuentra agrupado aparte (Ochaeta, 2014, p. 51).

Los géneros *Navicula*, *Cyclotella* y *L. robusta* son los géneros que están más relacionados al CP2. Los tres son de estrategia R, lo que los hace tolerantes a la contaminación (Reynolds, 2006, p.210, 211). Esto podría explicar el por qué *L. robusta* aumenta en los meses de lluvia (figuras 4 y 6), ya que ingresan nutrientes al lago (figura 30). *Aulacoseira granulata*, que está más relacionada al CP2 que al CP1, también tiene estrategia R (Reynolds, 2006, p. 212) y se ha observado que esta se agrupa con *Navicula* y *Synedra*, porque son influenciadas por la irradiación solar y velocidad del viento (Ochaeta, 2014, p. 51). Sin embargo en este estudio no se encuentran agrupadas, indicando que su comportamiento está influenciado por otras variables, como podría serlo la disponibilidad de nutrientes o el forrajeo del zooplancton. También se ha observado que *A. granulata* aumenta conforme aumenta la eutrofización y al mismo tiempo disminuye la abundancia de *Cyclotella*

(Bellinger y Sigee, 2010, p. 112).

Se observa a *A. granulata* (espiral) y *A. granulata* (recta) con las flechas con dirección opuesta en el análisis de componentes principales, indicando un comportamiento diferente. Esto puede explicarse con que se ha observado que varias especies de *A. granulata* pueden existir en formas diferentes, como resultado de procesos de crecimiento o limitación de sílice (Wehr y Sheath, 2003, p.569). En el caso de esta especie en el lago, se ha observado el recambio de una forma a otra (Dix et al, 2012, p. 73), indicando que la forma espiral tiene mayor resistencia al hundimiento y por eso se ve favorecida en los meses de lluvia y mayor temperatura del agua.

Por su parte, *Microcystis* se encuentra aislada del resto de géneros, mostrando características de los dos grupos mencionados anteriormente. Puede mantenerse a flote al formar vesículas de gas (Wehr y Sheath, 2003, p.23; Reynolds, 2006, p.59, 205) como *Ceratium* y *Staurastrum*, es tolerante a la contaminación como *Navicula* y *Cyclotella*, por lo que es indicadora de eutrofización y hasta puede formar florecimientos (Wehr y Sheath, 2003, p.37). Además, no tiene la capacidad de fijar nitrógeno, por lo que es sensible a la disponibilidad del nitrógeno.

En el análisis de componentes principales del biovolumen del fitoplancton (figura 32), se observa el mismo patrón que en el análisis con la abundancia; con la excepción que *L. robusta* está más relacionada a *Volvox* y *Aphanizomenon* que con *Navicula* y *Cyclotella*. Esto probablemente debido a la morfología, ya que los tres tienen mecanismos que las mantienen a flote. *Volvox* es capaz de moverse y nadar, *Aphanizomenon* puede mantenerse a flote por su forma de balsa y vesículas de gas (Reynolds, 2006, p. 24, 59, 68, 205). Además de esto, tienen otros aspectos en común como aumentar en abundancia cuando aumenta la razón N:P (Wehr y Sheath, 2003, p.813), pueden fijar nitrógeno (Reynolds et al, 2002, p.421) y pueden formar florecimientos (Wehr y Sheath, 2003, p.37) al igual que

*Volvox* (Wehr y Sheath, 2003, p. 241).

El análisis de componentes principales de las abundancias de los taxones del zooplancton (figura 33), relaciona a los copépodos Ciclopoida, *Asplanchna* y *Hexarthra* con el CP1. El hecho que solo los primeros dos son predadores y consumen otros rotíferos (Thorp y Covich, 2001, p.203, 225) al punto de reducir drásticamente sus abundancias (Haberman y Haldna, 2014, p.67; Thorp y Covich, 2001, p. 932) y son los predadores de menor tamaño podría ser la razón por la que se agrupan. Por otro lado *Hexarthra*, al ser un microherbívoro (Jaramillo-Londoño y Pinto-Coelho, 2010, p.964) que es ingerido por copepoditos calanoides (Modenutti, 1993, p.36), podría indicar que este grupo tiene interacciones con los copépodos calanoides. Además, se ha utilizado la relación de las abundancias de Calanoides/Ciclopoides como indicador de estado trófico (Haberman y Haldna, 2014, p.68) donde la abundancia de ciclopoides aumentaba al aumentar el estado trófico y los calanoides disminuye (Thorp y Covich, 2001, p. 931). Sus interacciones son complejas, implica una predación de los nauplios calanoides por los adultos ciclopides y competencia de recursos alimenticios entre los calanoides y nauplios ciclopoides (Thorp y Covich, 2001, p.931). El CP2 tiene asociados negativamente los taxones de cladóceros *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Simocephalus* y los copépodos Calanoida; que se alimentan del fitoplancton, lo que podría indicar una competencia entre ellos (Thorp y Covich, 2001, pp. 861, 868, 927). Sin embargo, las abundancias de los calanoides no tienen correlación con la productividad primaria como existe con *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Simocephalus* (Thorp y Covich, 2001, p. 934).

En relación a los biovolúmenes (figura 34), se observa que las agrupaciones separan a los crustáceos, que incluyen a los cladóceros y copépodos, del resto de los taxones (a excepción de *Brachionus*). Esto está muy relacionado al tamaño de los organismos, ya que los crustáceos tienen más volumen que los demás organismos. En este análisis se observa una agrupación más clara que con las

abundancias, donde los taxones están más dispersos. Los taxones que están más relacionados a los componentes principales, son los más comunes de cada uno de los grupos obtenidos respectivamente. *Brachionus* se encontró regularmente en el estudio realizado por Weiss (Weiss, 1973, p.104), pero en este estudio es un género muy estacional que solamente apareció en los meses de enero y diciembre de 2013, razón por la cual probablemente se encuentre agrupado aparte.

Al analizar las estructuras de ambas comunidades con el análisis de correspondencia canónica (figura 35), se observa que las estructuras no se explican entre sí. Los únicos que se relacionan entre sí con más del 50% de la segunda dimensión son la clorofita *Mougeotia*, el ciliado *Didinium* y el rotífero *Euchlanis*. Sin embargo, no tienen una relación aparente entre ellos. *Didinium* es un predador especialista en otros ciliados (Thorp y Covich, 2001, p. 48) y aunque puede cambiar de tipo de presa (Thorp y Covich, 2001, p.62), es muy poco probable que se alimente de *Euchlanis*, ya que este rotífero posee espinas y sería muy difícil de ingerir. Es muy probable que esta agrupación ocurra por factores ambientales más que por interacciones con el fitoplancton. Posiblemente sea la lluvia, ya que los meses donde se reportan los tres géneros fueron lluviosos (figura 30) en acción conjunta con el viento, ya que no hubo mucho viento (figura 29). *Mougeotia* está altamente influenciada por la precipitación, pH, temperatura ambiental y del agua (Ochaeta, 2015, p.51). La única interacción que se ve reflejada en las agrupaciones de este análisis es la de la cianobacteria *L. robusta* y el ciliado *Vorticella*, donde el primero sirve de sustrato para el segundo, aunque también se ha visto en *A. granulata*. El análisis no mostró agrupaciones que diferencien a los sitios evaluados, indicando que las comunidades son parecidas entre sí.

Debido a que se encontró que la composición de la comunidad fitoplanctónica no se relaciona fuertemente con la zooplanctónica, se sugiere agregar variables ambientales para evaluar si las comunidades responden al medio. Si fuera ese el

caso, podría evaluarse su potencial como uso de bioindicadores del estado del lago de Atitlán. Se ha propuesto el uso del fitoplancton y del zooplancton como indicadores biológicos de la salud de los ecosistemas acuáticos, ya que los factores fisicoquímicos son importantes para determinar su producción. En el caso del fitoplancton, este tiene correlaciones altas con el oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, demanda bioquímica de oxígeno, alcalinidad, pH, temperatura, CO<sub>2</sub>, fosfatos y nitratos (Jakhar, 2013, p. 490).

#### 8.5. Asociaciones entre el fitoplancton y el zooplancton

La correlación del 59% de las abundancias de los copépodos calanoides y ciclopoideos con *Staurastrum* podría explicarse con el forrajeo de los copépodos sobre el fitoplancton excluye a los géneros que presentan espinas como *Staurastrum* (figura 37). Estos, al no ser consumidos por el zooplancton debido a dichas espinas, tienen ventaja sobre los géneros que son consumidos. Existe una correlación positiva del 63% entre las abundancias y biovolúmenes de la diatomea *A. granulata* (espiral) y el ciliado *Didinium* (figura 41). Esta correlación no implica interacción directa entre ambas, ya que *Didinium* es carnívoro y se especializa en otros ciliados. No se descarta que ambos géneros se vean beneficiados por algún factor ambiental. La correlación del 61% entre las abundancias de *A. granulata* (espiral) y el ciliado *Vaginicola* es explicada porque la diatomea es sustrato de *Vaginicola* (figura 38). Esto se ve reflejado también en la correlación entre los biovolúmenes (figura 41).

La relación descrita entre *L. robusta* como sustrato de *Vorticella* (figura 39), no se ve reflejada en el análisis, debido a que *Vorticella* no se encontró todos los meses en los que se encontró la cianobacteria. Sin embargo, el hecho que hubiera más o menos *L. robusta*, no afectaba la abundancia de *Vorticella*, indicando que la disponibilidad de sustrato no fue limitante para el ciliado. En el caso de la interacción entre *L. robusta* y el ciliado que la ingiere (figura 40), esta no se ve

reflejada en el análisis ya que se observó solamente cuando la cianobacteria era muy abundante y dominaba la comunidad. Esto sugiere que el ciliado tiene preferencia por alimentarse de otros organismos y la ingiere solamente cuando es el único alimento disponible o cuando *L. robusta* se encuentra en reproducción formando hormogonios. Esto explicaría la capacidad del ciliado de ingerir a esta cianobacteria.

El análisis de correlación entre la riqueza del fitoplancton y abundancia de los individuos de zooplancton que presentan huevos no muestra correlación (cuadro 10). Esto indica que un aumento de la riqueza no implica aumento de disponibilidad de alimento para propiciar la reproducción. La producción de huevos puede estar relacionada a otros factores, como los ambientales. Al relacionar la abundancia del fitoplancton con la abundancia del zooplancton en reproducción solamente se observa la correlación entre la diatomea *Cocconeis* y *Daphnia* (figura 42). Como estos son géneros que aparecen en pocos meses, están correlacionados; posiblemente por disponibilidad de alimento o un factor ambiental.



## IX. CONCLUSIONES

- La biodiversidad del fitoplancton varía de mes a mes en los sitios Santiago Atitlán, y Centro Weiss G del Lago de Atitlán durante los años 2013 y 2014. Hubo dominancia de los géneros *Aulacoseira granulata* y *Fragilaria crotonensis* en los meses de enero 2013 y febrero 2014. La biodiversidad del zooplancton varía menos de mes a mes que la biodiversidad del fitoplancton y no se observan dominancias.
- Los meses de dominancia de cianobacterias tienen baja diversidad del fitoplancton.
- La profundidad y la mezcla del agua más frecuente en el sitio Santiago Atitlán favorece la disponibilidad de nutrientes, beneficiando al fitoplancton. Sin embargo, la densidad del zooplancton es menor debido a que es alimento de los peces que habitan ahí.
- La diversidad del zooplancton no se ve afectada por la dominancia de *A. granulata*, a pesar que la del fitoplancton sí, al verse muy reducida.
- Las épocas reproductivas del zooplancton no están relacionadas a la riqueza, ni estructura de la comunidad del fitoplancton; sugiriendo la importancia de otros factores no evaluados.
- Las estructuras de las comunidades no se explican por sí mismas. Las agrupaciones del fitoplancton y zooplancton podrían ser por su respuesta al medio.
- No hay diferencias entre las estructuras de las comunidades del fitoplancton

y el zooplancton en los sitios de Santiago Atitlán, y Centro Weiss G del Lago de Atitlán.

- El ciliado *Vaginicola* tiene preferencia por utilizar a *A. granulata* (forma espiral) como sustrato.
- Hay un ciliado que ingiere a *Limnographis robusta*, a pesar que generalmente las cianobacterias no son preferidas como alimento. Sin embargo, se desconoce las condiciones en las que esta asociación ocurre.

## X. RECOMENDACIONES

- Incluir variables tales como ambientales, químicas y físicas para evaluar su relevancia en las dinámicas entre el fitoplancton y zooplancton, además de la posibilidad de utilizar estos organismos como bioindicadores del estado del Lago de Atitlán si fueran relevantes.
- Evaluar si la relación Si:P afecta la morfología de *Aulacoseira granulata* en la forma recta y espiral.
- Ampliar este estudio en el tiempo, utilizando muestras colectadas en otros años para incluir la variabilidad de la dinámica de las comunidades. También tomar en cuenta utilizar intervalos menores de tiempo, para evaluar los cambios y realizar análisis de autocorrelaciones cruzadas.
- Estudiar la interacción entre la cianobacteria *Limnorphis robusta* y el ciliado que se encontró ingiriéndola, ya que no es común que las cianobacterias sean ingeridas por otros organismos.
- Realizar bioensayos para evaluar las variables que afectan la reproducción del zooplancton.

## XI. REFERENCIAS

- Beatty, R. J. (1975). *Zooplankton diversity in a tropical lake in relation to physicochemical conditions* (Tesis de Maestría). Universidad del Estado de Oklahoma, Oklahoma.
- Bellinger, E. G. y Sigeo, D. C. (2010). *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*. Reino Unido: Wiley-Blackwell.
- Brooks, J. L. (1969). Eutrophication and changes in the composition of zooplankton, p. 236-255. In *Eutrophication: Causes, consequences, correctives*. National Academy of Science.
- Castellanos, E., & Dix, M. (2009). *Levantamiento de la Línea Base del Lago Atitlán*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Chandra, S., Dix, M., Rejmánková, E., Mosquera, V., Girón, N., Heyvaert, A. (2013). *El Estado Ecológico Actual del Lago Atitlán y el Impacto de la Entrada de Aguas Residuales de la Cuenca para Restaurar el Lago*. Unidos por el Lago Atitlán.
- Clark, H. W. (1908). The Holophytic Plankton of Lakes Atitlan and Amatitlan, Guatemala. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 21, 91-106.
- Dix, M., Fortin, I., Medinilla, O., & Rios, L. (Eds.). (2003). *Diagnóstico ecológico social en la cuenca de Atitlán*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala/The Nature Conservancy.
- Dix, M., Dix, M., Orozco, M., Cabrera, D., Bocel, E., Toledo, A., y otros. (2012). *El*

Lago Atitlán, Guatemala: su estado ecológico octubre 2009 - diciembre 2011. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 24, 35-50.

Dix, M., Dix, M., Symonds, E., Cabrera, D., Toledo, A., Orozco, M. (2012). Estado físico, químico y biológico del lago Atitlán: octubre 2009 a diciembre 2010. Guatemala: Centro de Estudios Atitlán, Laboratorio de Análisis y Monitoreo.

Dodson, S., Arnott, S., Cottingham, K. (2000). The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology* 81(10), 2000, pp. 2662–2679.

Eikelboom, E. H. (2000). *Process control of activated sludge plants by microscopic investigation*. London: IWA Publishing.

Ferdous, Z. y Muktadir, A.K.M. (2009). A review: potentiality of zooplankton as bioindicator. *American Journal of Applied Sciences*, 6(10), 1815-1819.

Haberman, J. y Haldna, M. (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*. doi:10.4081/jlimnol.2014.828

Hill, M. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427-432.

Jakhar, P. (2013). Role of phytoplankton and zooplankton as health indicators of aquatic ecosystem: A review. *International Journal of Innovative Research & Studies*, 2(12), 489-500.

Jaramillo-Londoño, J.C. y Pinto-Coelho, R.M. (2010). Interaction between

*Hexarthra intermedia* (Rotifera) and *Bosmina longirostris* (Cladocera): a case of opportunistic nutrition or interference competition? *Journal of Plankton Research*, 6(32), 961-966.

Juday, C. (1915). Limnological studies on some lakes in Central America. *Wisconsin Academy of Sciences, Arts, and Letters*, 18, 214-250.

King, C. E. (1967). Food, age and the dynamics of a laboratory population of rotifers. *Ecology*, 48(1), 111-128.

Loose, C. J. and Dawidowicz, P. (1994) Trade-offs in diel vertical migration by zooplankton: The costs of predator avoidance. *Ecology*, 75, 2255–2263.

Meek, S. E. (1908). The Zoölogy of lakes Amatitlan and Atitlan, Guatemala, with special reference to ichthyology. Field Columbian Museum. *Zoological series*, 7(6).

Mcnaught, D. C. (1975). A hypothesis to explain succession from calanoids to cladocerans during eutrophication. *International Association of Theoretical & Applied Limnology* 19: 724-731.

Modenutti, B. E. (1993). Summer population of *Hexarthra bulgarica* in a high elevation lake of south Andes. *Hydrobiologia* 259, 33-37.

Ochaeta, G. R. (2014). Análisis temporal y espacial de la comunidad de fitoplancton en los puntos Panajachel, Centro Weiss G y Santiago en el Lago Atitlán, Sololá, Guatemala, durante el año 2013 (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Rejmánková, E., Komárek, J., Dix, M., Komárková, J., & Girón, N. (2011).

- Cyanobacterial blooms in Lake Atitlan, Guatemala. *Limnologia*, 41, 296-302.
- Reyes, F., Ujpan, D. y Valiente, S. (2018). Batimetría y análisis morfométrico del lago de Atitlán (Guatemala). *Revista científica Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas*, 27(2) 48-58.
- Reynolds, C.S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. New York: Cambridge University Press.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. y Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24(5), 417-428.
- Roldán, G. y Ramírez, J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Smith, D.G. (2001). *Pennak's freshwater invertebrates of the United States: porifera to crustacea*. 4ª edición. EEUU: John Wiley & Sons.
- Starkweather, P.L. y Gilbert, J.J. (1977). Feeding in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Oecologia*, 28(2), 133-139.
- Stelzer, C.P. (1998). Feeding behaviour of the rotifer *Ascomorpha ovalis*: functional response, handling time and exploitation of individual *Ceratium* cells. *Journal of Plankton Research*, 20(6) 1131-1144.
- Thorp, J.P. y Covich, A.P. (2001). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. 2a. Edición. EEUU: Academic Press.
- Toledo, M. A. (2013). Dinámicas de fitoplancton y su relación con factores

fisicoquímicos (Tesis de Licenciatura). Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.

Wang, S., Xie, P., Wu, S. y Wu, A. (2007). Crustacean zooplankton distribution patterns and their biomass as related to trophic indicators of 29 shallow subtropical lakes. *Limnologica*, 37,242-249.

Wehr, J.D. y Sheath, R. G. (2003). *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. EEUU: Academic Press.

Weiss, C. M. (1971). Water quality investigations in Guatemala, Lake Atitlan 1968-1970. University of North Carolina and ERIS.

Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. San Diego: Elsevier.

Williamson, C.E., Fischer, J.M., Bollens, S.M., Overholt, E.P. y Breckenridge, J.K. (2011). Toward a more comprehensive theory of zooplankton diel vertical migration: Integrating ultraviolet radiation and water transparency into the biotic paradigm. *Limnology and Oceanography*, 56(5): 1603-1623.

Zaret, T.M., Suffern, J.S. (1976). Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnology and Oceanography*, 21(6): 804-813.



## XII. ANEXOS

### Anexo 1. Biovolúmenes del zooplancton

<b>Grupo</b>	<b>Taxón</b>	<b>Biovolumen (<math>\mu\text{m}^3</math>)</b>
Platyhelminthes	Planaria	1 895 336.38
Ciliophora	Ciliado	628 225.05
	<i>Didinium</i>	45 200.64
	<i>Vorticella</i>	1 346.35
	<i>Vaginicola</i>	20 129.27
Heliozoa	Heliozoo	1 558.83
Rotifera	<i>Brachionus</i>	6 807 179.24
	<i>Brachionus</i> (con huevo)	7 110 385.84
	<i>Keratella</i>	35 181.91
	<i>Keratella</i> (con huevo)	77 485.91
	<i>Asplanchna</i>	2 494 910.20
	<i>Euchlanis</i>	1 285 856.16
	<i>Ascomorpha</i>	692 178.49
	<i>Gastropus</i>	398 640.17
	<i>Hexarthra</i>	344 066.47
	<i>Trichocerca</i>	212 180.00
Copepoda	Cyclopoida	34 232 417.122
	Cyclopoida (con huevos)	102 703 006.69
	Nauplios Cyclopoida	433 486.21
	Calanoida (grande)	172 057 360.38
	Calanoida (pequeño)	33 090 365.96
	Calanoida (grande con huevos)	172 114 774.65
	Nauplios calanoida	1 362 499.54
Cladocera	<i>Ceriodaphnia</i>	265 046 792.63
	<i>Ceriodaphnia</i> (con embrión)	321 817 377.81
	<i>Bosmina</i>	98 621 342.96
	<i>Bosmina</i> (con embrión)	236 554 916.59
	<i>Diaphanosoma</i>	184 471 659.00

<b>Grupo</b>	<b>Taxón</b>	<b>Biovolumen (<math>\mu\text{m}^3</math>)</b>
	<i>Diaphanosoma</i> (con embrión)	625 842 174.01
	<i>Simocephalus</i>	76 124 338.58
	<i>Simocephalus</i> (con embrión)	380 248 707.40
	<i>Daphnia</i>	620 622 168.74
	<i>Daphnia</i> (con embrión)	1 615 882 093.29

Anexo 2. Abundancia (organismos/L) del fitoplancton del Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014

Mes	<i>Aulacoseira</i> R	<i>Aulacoseira</i> E	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Navicula</i>	<i>Synedra</i>	<i>Boryococcus</i>	<i>Pediastrum</i>	<i>Sphaerocystis</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Volvox</i>	<i>Ceratium</i>	<i>Mougeotia</i>	<i>Closteriopsis</i>	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Dolichospermum</i>	<i>Limnolaphis</i>	<i>Microcystis</i>
1-2013	7331	0	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-2013	377	0	0	14619	0	0	0	0	47	0	0	0	94	0	0	0	0	0	0
3-2013	68778	0	0	4737	0	0	0	0	379	568	189	0	0	0	0	0	0	0	0
4-2013	64484	146	0	875	0	0	0	0	1897	0	875	0	7586	0	292	0	0	146	146
5-2013	1502	0	0	116	0	0	29	29	202	0	404	0	5517	549	347	1040	0	58	29
6-2013	2494	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	80	6598	0	0	0	15610	0
7-2013	4515	1680	735	0	0	105	0	0	0	0	105	105	0	13440	0	4725	0	18375	420
8-2013	138	64	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	764	0	265	0	2525	53
9-2013	134	883	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1766	0	0	0	5352	27
10-2013	1919	3974	0	7606	0	27	0	0	0	0	0	0	69	4523	0	0	0	3152	0
11-2013	1846	385	0	294	0	0	0	0	0	0	0	0	20	122	10	101	0	700	0
12-2013	1592	333	0	608	0	0	0	0	0	0	14	0	0	854	0	0	0	1346	0
1-2014	8243	584	0	16486	0	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0	0	0	146	0
2-2014	91275	0	0	1096	0	0	0	0	0	0	274	0	1645	0	0	0	0	0	0
4-2014	7232	0	0	164	0	0	0	0	0	0	0	23	164	187	117	0	0	0	0
5-2014	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	4	2	0	0	0	1	7
6-2014	6	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	8	33	3	0	0	5	11
7-2014	3515	2335	0	157	0	0	26	0	0	0	105	0	184	1521	26	0	0	315	289
8-2014	273	898	0	430	0	0	39	0	0	0	0	0	312	6053	117	0	0	4686	0
9-2014	192	1923	0	1410	0	0	0	0	0	0	64	0	385	20642	0	1154	0	1731	0
10-2014	141	4244	0	1556	0	0	0	0	0	0	0	0	849	39470	0	141	141	707	0
11-2014	130	6160	0	3177	0	0	0	0	0	0	778	0	584	18674	584	0	0	3242	0

Anexo 3. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del fitoplancton del Centro Weiss G durante el 2013

Mes	<i>Aulacoseira</i> R	<i>Aulacoseira</i> E	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Navicula</i>	<i>Synedra</i>	<i>Botryococcus</i>	<i>Pediastrum</i>	<i>Sphaerocystis</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Volvox</i>	<i>Ceratium</i>	<i>Mougeotia</i>	<i>Closteriopsis</i>	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Limnoraphis</i>	<i>Microcystis</i>
1-2013	3935750	0	0	66277	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-2013	202533	0	0	4427381	0	0	0	102880	0	0	0	1679233	0	0	0	0	0
3-2013	36923885	0	0	1434563	0	0	0	826717	373251	441935	0	0	0	0	0	0	0
4-2013	34618939	78323	0	265107	0	0	0	4137717	0	2041733	0	135073302	0	212098	0	62356201	129680
5-2013	806335	0	0	34991	0	27470	65653	441099	0	943185	0	98224634	1184855	251946	1071906	61230206	25674
6-2013	1339093	0	0	0	0	0	0	0	52836	0	0	1432596	14244985	0	0	11027772818	0
7-2013	2423872	901906	298098	0	21245	0	0	0	0	244905	26275	0	29016855	0	4870747	6239574412	373322
8-2013	74051	34177	0	0	0	0	48235	0	0	0	0	0	1649379	0	273445	644023128	47156
9-2013	71828	474063	0	8104	5414	0	0	0	0	0	0	0	3812984	0	0	1429888379	23785
10-2013	1030071	2133719	0	2303622	0	0	0	0	0	0	0	1220068	9764554	0	0	552569824	0
11-2013	990979	206908	0	89078	0	0	0	0	0	0	0	361159	262769	7372	104553	126404520	0
12-2013	854437	178655	0	184041	0	0	0	0	0	33748	0	0	1843056	0	0	230295072	0

Anexo 4. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del fitoplancton del Centro Weiss G durante el 2014

Mes	<i>Aulacoseira R</i>	<i>Aulacoseira E</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Synedra</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Volvox</i>	<i>Ceratium</i>	<i>Mougeotia</i>	<i>Closteriopsis</i>	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Dolichospermum</i>	<i>Limnoraphis</i>	<i>Microcystis</i>
1-2014	4425272	313294	0	4992854	0	170144	0	0	0	0	0	0	13304123	0
2-2014	49001962	0	0	332054	0	639331	0	29281625	0	0	0	0	0	0
4-2014	3882662	0	0	49619	0	0	5857	2917050	404260	85066	0	0	0	0
5-2014	5442	0	0	103	0	266	2451	75029	5164	331	235	0	729494	6277
6-2014	3243	695	175	784	0	0	54	142108	71258	1882	0	0	2296282	9587
7-2014	1887040	1253333	0	47666	24947	244733	0	3269257	3284759	19067	0	0	60391132	256479
8-2014	146757	482203	0	130099	37141	0	0	5562459	13068721	85160	0	0	1114490171	0
9-2014	103244	1032445	0	427117	0	149521	0	6848122	44565690	0	1189488	0	302845712	0
10-2014	75950	2278499	0	471302	0	0	0	15113097	85217922	0	145838	101144	109640445	0
11-2014	69621	3306988	0	962241	0	1814874	0	10390254	40318157	424196	0	0	555751499	0

Anexo 5. Abundancia (organismos/L) del fitoplancton de Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014

Mes	<i>Aulacoseira R</i>	<i>Aulacoseira E</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Navicula</i>	<i>Synedra</i>	<i>Botryococcus</i>	<i>Pediastrum</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Volvox</i>	<i>Ceratium</i>	<i>Mougeotia</i>	<i>Closterium</i>	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Limnorrhaphis</i>	<i>Microcystis</i>
1-2013	14858	37	0	224	75	0	0	0	0	37	0	37	0	0	0	0	0
2-2013	1057	0	0	6763	0	0	0	0	246	98	0	221	0	0	0	0	0
3-2013	3749	0	0	408	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
4-2013	13369	0	0	279	0	0	40	0	279	40	0	796	0	0	0	0	0
5-2013	5061	0	0	4679	0	0	286	0	1146	2005	0	27788	382	477	477	477	764
6-2013	5975	23	0	70	0	0	0	0	0	23	0	0	47	0	0	1640	47
7-2013	2706	19	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0	4238	492	0
8-2013	1106	0	0	17	0	0	0	17	0	0	0	17	419	0	3906	235	0
9-2013	981	168	0	196	0	0	9	0	0	0	0	9	589	0	280	1056	28
10-2013	12231	795	0	5688	0	0	0	0	0	0	0	122	2140	0	0	1896	0
11-2013	40055	340	0	227	0	0	0	0	0	0	0	113	113	0	681	794	0
12-2013	6791	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	382	0
1-2014	12204	101	0	5824	0	0	0	0	0	253	0	51	0	0	0	0	0
2-2014	33361	0	0	1083	0	0	0	0	108	0	0	0	0	0	0	0	0
4-2014	10991	0	0	259	0	0	0	0	0	0	0	97	0	0	32	0	32
5-2014	47	0	0	2646	0	12	0	0	0	0	256	93	117	0	0	70	431
6-2014	18745	59	236	1474	0	0	0	0	0	0	0	472	59	59	0	59	177
7-2014	40921	184	0	184	0	0	0	0	0	184	0	552	460	828	1839	0	92
8-2014	4662	1218	0	546	0	0	0	0	0	84	0	756	6426	126	0	3738	0
9-2014	154	615	0	1026	0	0	0	0	0	154	51	308	7744	154	5333	1436	0
10-2014	108	1614	0	1399	0	0	0	0	0	0	0	645	31090	0	0	1291	0
11-2014	2122	2546	0	248	0	0	0	0	0	71	0	35	7604	141	71	177	0

Anexo 6. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del fitoplancton de Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014

Mes	<i>Aulacoseira R</i>	<i>Aulacoseira E</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Navicula</i>	<i>Synedra</i>	<i>Botryococcus</i>	<i>Pediastrum</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Volvox</i>	<i>Ceratium</i>	<i>Mougeotia</i>	<i>Closterium</i>	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Limnorrhaphis</i>	<i>Microcystis</i>
1-2013	7976855	20042	0	67839	0	0	0	0	87077	0	664696	0	0	0	0	0
2-2013	567696	0	0	2048138	0	0	0	536505	229437	0	3940622	0	0	0	0	0
3-2013	2012424	0	0	123674	0	0	0	22843	0	0	0	0	0	0	427413	0
4-2013	7177271	0	0	84352	0	37841	0	607637	92806	0	14168528	0	0	0	0	0
5-2013	2717110	0	0	1417119	0	272458	0	2499991	4677425	0	494765005	824690	347069	492202	81629935	679053
6-2013	3207699	12579	0	21289	0	0	0	0	54652	0	0	101177	0	0	460407807	41655
7-2013	1452638	10158	0	5731	0	0	0	0	0	0	0	449379	0	4369293	117965313	0
8-2013	593952	0	0	5077	0	0	38102	0	0	0	298457	904788	0	4026294	46138416	0
9-2013	526903	90326	0	59448	0	8890	0	0	0	0	166424	1271396	0	289071	206943243	24926
10-2013	6566507	426823	0	1722528	0	0	0	0	0	0	2177755	4621380	0	0	355134967	0
11-2013	21504122	182755	0	68732	0	0	0	0	0	0	2020327	244989	0	701843	101527415	0
12-2013	3645598	11392	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45816	0	0	44267113	0
1-2014	6551978	54373	0	1763730	0	0	0	0	590584	0	901634	0	0	0	0	0
2-2014	17909949	0	0	328037	0	0	0	236303	0	0	0	0	0	0	0	0
4-2014	5900362	0	0	78550	0	0	0	0	0	0	1731709	0	0	33421	0	28818
5-2014	25029	0	0	801286	2358	0	0	0	0	64167	1660151	251641	0	0	15675044	383325
6-2014	10063369	31646	95630	446309	0	0	0	0	0	0	8396165	127267	42848	0	427413	157188
7-2014	21968525	98735	0	55699	0	0	0	0	428970	0	9823513	992682	601586	1895888	0	81738
8-2014	2502788	653882	0	165357	0	0	0	0	195924	0	13460102	13873684	91588	0	689311007	0
9-2014	82596	330382	0	310631	0	0	0	0	358850	12833	5478498	16719054	111833	5498076	274999883	0
10-2014	57754	866304	0	423547	0	0	0	0	0	0	11492251	67123750	0	0	161853310	0
11-2014	1139249	1367099	0	74980	0	0	0	0	164989	0	629712	16417431	102835	72919	33860595	0

Anexo 7. Abundancia (organismos/L) del zooplancton del Centro Weiss G durante los años 2013 y 2014

Mes	Platyhelminthes	Ciliophora	Dicinium	Vorticella	Vaginicola	Heliozoa	Brachionus	Keratella	Asplanchna	Euchlanis	Ascomorpha	Gastropus	Hexarthra	Trichocerca	Ceriodaphnia	Bosmina	Diaphanosoma	Simocephalus	Daphnia	Ciclopoidea	Calanoida
1-2013	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2	5	1	2	0	2	5
2-2013	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	1	0	9	15	2	14	0	9	45
3-2013	0	0	0	32	0	0	0	19	11	0	0	0	11	6	4	1	0	3	0	29	22
4-2013	1	12	0	0	26	0	0	11	26	0	0	5	4	2	3	8	3	15	0	58	47
5-2013	3	3	0	0	19	0	0	6	25	0	18	339	9	0	4	1	1	11	0	26	24
6-2013	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	2	1	0	3	1	4	3	0	1	15
7-2013	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	3	4	0	4	17
8-2013	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2	12	0	6	8
9-2013	0	1	0	5	22	0	0	0	6	0	0	1	0	0	7	5	1	6	0	5	5
10-2013	0	17	0	34	15	0	0	1	11	0	4	17	0	0	21	1	3	21	0	5	11
11-2013	0	0	0	184	35	0	0	0	3	0	0	1	0	0	1	0	1	2	0	0	3
12-2013	1	0	3	120	10	0	1	1	5	0	0	1	0	0	2	27	6	3	0	6	24
1-2014	1	0	0	2	1	0	0	5	21	0	0	0	6	0	9	5	2	8	0	13	30
2-2014	0	1	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	1	4	0	1	0	6	8
4-2014	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	3	0	0	13	2	5	17	0	7	8
5-2014	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0	3	10	4	5	0	2	5
6-2014	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	6	0	0	11	1	3	16	0	1	7
7-2014	1	0	3	0	232	0	0	10	1	0	8	2	12	0	19	1	5	50	0	23	20
8-2014	1	0	3	27	40	0	0	8	4	0	1	6	4	0	4	1	2	3	0	12	18
9-2014	3	0	1	33	31	10	0	5	0	0	2	5	1	4	18	0	1	8	0	18	15
10-2014	2	1	10	101	66	1	0	7	2	0	9	2	7	9	10	2	1	10	0	16	5
11-2014	0	0	3	288	22	0	0	1	44	1	2	0	3	11	15	9	1	13	0	17	23



Anexo 8. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del zooplancton del Centro Weiss G durante el 2013

Mes	Planaria	Ciliado	Didinium	Vorticella	Vaginicola	Heliozoo	Brachionus	Asplanchna	Euchlanis	Ascomorpha	Gastropus	Hexarthra	Trichocerca	Ceriodaphnia	Bosmina	Diaphanosoma	Simocephalus	Daphnia	Cyclopoida	Calanoida
1-2013	0	0	0	0	0	0	46965 01	0	0	22334 18475	0	98194 17	0	52472 8191	49033 1508	14369 1926	22720 4932	40285 499	93327 965	71492 1684
2-2013	0	0	0	0	0	0	19425 171	0	0	0	0	0	0	24904 97132	16784 76624	44574 2557	16343 28010	0	27572 3124	62928 96587
3-2013	0	28731 4	0	43718	0	0	27384 641	0	0	36191 87	12615 04	0	73708 6	96973 5798	13531 0985	0	24370 3889	0	17221 5064	14164 28641
4-2013	12127 83	72357 65	0	0	52809 1	0	65453 896	0	20406 46	15411 22	40730 8	0	38270 6	84798 7170	82037 2301	47215 6930	15095 40063	0	17523 6381	11222 03294
5-2013	47629 29	15787 12	0	0	37938 2	0	62696 414	12175 980	13523 9208	30262 04	0	0	22102 8	99908 3065	12391 6375	23178 6129	12429 70891	0	0	0
6-2013	0	68036	0	0	0	1013	48635 47	67466 2	64758 7	26083 5	0	0	0	78731 4783	96125 606	67925 7184	25557 0602	0	33366 123	22837 75146
7-2013	0	0	0	0	63934	2179	0	0	50646	0	0	0	0	89715 0162	47358 4395	49217 0275	48338 1141	78848 551	15222 0845	27808 82318
8-2013	21485 2	0	0	763	75300	0	28281 9	0	0	0	0	0	0	12812 06026	17887 2641	35549 3446	11474 45826	0	21343 0883	13376 82802
9-2013	0	86207 0	0	7390	44540 5	0	14122 323	0	47864 8	0	36395	0	0	18932 03831	45674 3051	29720 3323	50917 9425	0	17028 5579	85602 8994
10-2013	90483 5	10497 026	0	46278	30751 1	0	27394 650	29740 18	66608 88	0	10129 5	0	53788	58566 21773	94163 785	82717 8784	23613 27204	0	13074 0623	17252 47682
11-2013	0	0	0	24748 5	70256 0	725	81273 13	0	37102 7	0	0	0	0	24668 7177	45894 954	17169 3429	14170 2512	0	0	48052 4057
12-2013	11025 30	0	15776 1	16133 5	19905 9	0	13061 753	0	23189 2	0	0	39597 82	20466	46253 8456	27191 96727	11803 92326	39832 1347	0	15930 5801	25024 73410

Anexo 9. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del zooplancton del Centro Weiss G durante el 2014

Mes	Planaria	Ciliado	Didinium	Vorticella	Vaginicola	Heliozoo	Brachionus	Keratella	Asplanchna	Euchlanis	Ascomorpha	Gastropus	Hexarthra	Trichocerca	Ceriodaphnia	Bosmina	Diaphanosoma	Simocephalus	Daphnia	Cyclopoida	Calanoida
1-2014	12551 88	0	0	2229	26661	0	52872 190	0	0	0	21646 53	0	0	18639 4	23884 18269	50285 7649	65879 7352	63016 7421	20550 3721	38539 9402	33159 54337
2-2014	0	56175 5	0	0	0	139	13162 505	0	0	0	30766	56919	0	83068	19467 8931	42853 8049	16495 340	68036 553	0	20203 2838	98769 7767
4-2014	0	0	0	1078	4031	0	13989 637	0	27723 1	10378 10	13780 5	0	0	7046	33666 63277	17774 8899	10633 91038	14023 57032	0	22622 7295	12538 01221
5-2014	0	0	0	458	0	0	16695 123	0	31402 3	31649 1	0	0	0	0	85458 9155	96640 7730	69044 0536	44024 3488	0	69887 067	84304 9500
6-2014	0	0	0	0	58395	0	0	0	0	22550 71	0	0	0	5103	30892 70516	57219 683	48163 3516	20196 67194	18004 1168	59586 177	12278 38053
7-2014	18827 82	0	13470 4	0	46690 51	0	37175 76	0	55007 48	79199 9	41014 48	10538 7	0	38797 5	50589 25839	97968 075	91624 8588	37810 04527	30825 5582	68014 181	12821 96073
8-2014	11179 14	18527 1	13330 2	36132	80734 5	0	11036 675	0	40826 3	23512 73	15220 39	62574	0	32794 3	11110 58102	58169 186	38082 0019	31418 9469	18302 8770	30288 323	12688 31279
9-2014	64497 99	23753 8	51272	44289	62410 7	15914	94334 9	0	15703 15	18087 55	26018 9	80227 2	0	18623 7	48747 96408	37289 650	20925 1367	74822 5362	0	77661 578	92345 4647
10-2014	32800 26	72479 5	46933 9	13591 4	13353 52	899	57568 47	0	63886 31	68987 8	23817 35	19583 67	0	24354 0	27848 52443	25024 0098	21282 8313	74652 1307	0	39494 563	39707 7661
11-2014	0	0	14671 8	38748 6	43558 7	0	11067 6587	13912 63	14978 39	0	11168 13	22957 33	0	38066	40148 33799	10028 86737	19959 3611	98837 5021	0	11111 5796	13033 17970

## Anexo 10. Abundancia (organismos/L) del zooplancton de Santiago Atitlán durante los años 2013 y 2014


Mes	Planaria	Ciliado	Didinium	Vorticella	Vaginicola	Heliozoo	Brachionus	Keratella	Asplanchna	Euchlanis	Ascomorpha	Gastropus	Hexarthra	Trichocerca	Ceriodaphnia	Bosmina	Diaphanosoma	Simocephalus	Daphnia	Cyclopoida	Calanoida
1-2013	0	0	0	0	0	0	9	0	6	0	0	0	0	0	20	43	8	48	1	15	50
2-2013	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	11	0	2	1	0	6	0	43	33
3-2013	0	0	0	210	0	0	0	36	22	0	0	1	14	7	7	2	0	16	0	32	16
4-2013	0	6	0	0	151	0	0	17	92	0	0	13	10	3	9	16	1	16	0	215	115
5-2013	3	0	0	0	3	0	0	11	42	0	5	20	7	0	12	9	3	18	0	73	75
6-2013	1	0	0	0	5	0	0	0	11	0	1	9	8	0	16	57	16	18	0	18	107
7-2013	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	4	1	7	16
8-2013	1	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	0	25	8	6	16	1	14	16
9-2013	0	0	0	6	25	0	0	0	4	0	0	1	0	0	8	6	4	13	0	8	6
10-2013	1	0	0	10	2	0	0	0	6	0	0	4	0	0	10	1	3	18	0	4	5
11-2013	2	0	0	199	63	0	0	11	32	0	0	1	2	0	7	3	4	5	0	13	14
12-2013	0	1	2	27	31	0	42	3	0	0	0	4	0	0	2	25	2	4	0	4	13
1-2014	0	0	1	1	1	0	0	0	25	0	0	0	5	0	19	7	5	26	0	22	59
2-2014	1	0	0	16	16	0	0	29	12	0	0	2	0	1	1	6	0	3	0	6	5
4-2014	0	0	0	23	5	0	1	0	4	0	0	0	1	0	4	2	2	6	2	9	7
5-2014	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1	0	0	20	14	7	13	3	6	13
6-2014	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	20	0	6	22	4	7	18
7-2014	2	0	2	0	20	0	0	19	12	0	10	3	11	2	8	2	1	18	1	67	47
8-2014	1	0	5	24	39	0	0	52	8	0	5	10	25	3	1	0	5	9	2	54	43
9-2014	4	0	4	7	48	1	0	5	4	1	3	1	1	4	8	0	1	7	0	41	13
10-2014	0	0	23	22	21	0	0	3	14	1	8	1	11	2	3	0	1	1	0	29	18
11-2014	0	0	5	42	6	0	0	1	4	0	2	0	2	2	2	0	0	2	0	12	7

Anexo 11. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del zooplancton de Santiago Atitlán durante el 2013

Mes	Planaria	Didinium	Vorticella	Vaginicola	Brachionus	Keratella	Asplanchna	Ascomorpha	Gastropus	Hexarthra	Trichocerca	Ceriodaphnia	Bosmina	Diaphanosoma	Simocephalus	Daphnia	Cyclopoida	Calanoida
1-2013	0	0	0	0	62147148	0	14875885	0	0	0	0	5677799876	4480537898	1803042317	4175128723	963468615	510276394	7632045332
2-2013	0	0	0	0	0	35893	24605217	0	0	3744265	0	579426670	67077240	62734138	440095302	211057876	314322600	1661027892
3-2013	0	0	283127	0	0	1412000	53670935	0	350025	4833709	1490433	1861790012	233744640	0	1904144267	0	195375039	694413509
4-2013	0	0	0	3032717	0	605780	229112823	0	5147995	3455850	608904	2444773933	1556603852	264694037	1637900107	0	491209403	1481533460
5-2013	4807030	0	0	68070	0	386662	105461561	3511063	8088381	2327028	0	3185033225	1033745092	467864595	2122820417	0	231529297	2036629212
6-2013	1617044	0	0	103042	0	0	27671566	590546	3401077	2641924	0	4296468326	5872791679	2990327225	1623356397	0	642538308	17143594108
7-2013	224887	0	0	21496	0	0	0	0	47300	0	0	855846317	348678121	328321044	442408720	604373289	239645821	2461922068
8-2013	1584161	0	0	50473	0	0	4170595	0	222128	0	0	6877957903	769344358	1130691596	1441884212	345819207	476869339	2376923331
9-2013	475829	0	7436	495243	0	0	10021649	0	200159	0	0	2148273553	613957732	869982817	2024475625	155808654	266417991	923804808
10-2013	1066529	0	13384	41532	0	0	15911051	0	1495464	129074	0	2787568473	92492382	1215929193	1855600959	0	134842061	645533844
11-2013	3247451	0	267591	1258860	0	428064	79082977	0	341513	589520	0	1865149756	371632353	1168300018	651834071	0	146633749	1474253197
12-2013	804198	95894	35989	623487	290059665	107517	1058600	0	1522300	0	0	586389621	2627775394	391360022	322998373	0	145249407	1460335048

Anexo 12. Biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{L}$ ) del zooplancton de Santiago Atitlán durante el 2014

Mes	Planaria	Ciliado	Didinium	Vorticella	Vaginicola	Heliozoo	Brachionus	Keratella	Asplanchna	Euchlanis	Ascomorpha	Gastropus	Hexarthra	Trichocerca	Ceriodaphnia	Bosmina	Diaphanosoma	Simocephalus	Daphnia	Cyclopoida	Calanoida
1-2014	0	0	24611	1466	10960	0	0	0	62487 426	0	0	0	18733 64	0	49684 28548	64436 5152	90396 5905	23206 80982	0	78283 4974	87675 73125
2-2014	18191 74	0	0	20934	31685 5	0	13067 28	10441 61	30172 649	0	0	84176 7	13209 6	24438 5	15263 7691	70417 9570	35411 770	32141 5975	0	21028 5867	79272 1415
4-2014	71560 4	0	0	31262	10260 0	0	64825 45	13283	98907 87	0	0	15051 1	19485 9	0	10828 99238	19359 9017	36191 8933	67514 4711	10544 51017	33604 6154	10071 18048
5-2014	0	0	0	0	5164	0	0	0	19841 956	0	0	30681 0	0	0	54833 71222	15684 91142	12304 69576	13861 16971	15921 90994	21077 5306	19153 02119
6-2014	10290 28	0	0	0	0	0	0	0	67727 6	0	75160 4	27054 03	0	57599	53756 70092	26772 056	11517 76754	26026 69888	26288 40687	27878 8277	29140 78603
7-2014	31697 73	0	75594	0	39275 0	0	0	73758 5	30598 366	0	69456 24	11111 47	38361 27	47313 5	21635 18267	21991 3321	20567 4420	20361 41899	69195 5098	32442 6043	17266 91289
8-2014	13346 41	0	22280 3	32234	79376 9	0	0	19822 29	21082 128	0	34118 85	39299 53	87221 41	59764 4	22661 4537	0	90929 7437	91101 5022	13110 72817	48210 9661	26890 97245
9-2014	68209 84	0	16266 9	10094	96589 0	935	0	19205 6	97269 75	19281 55	20758 58	35865 9	20637 3	89086 5	23107 94616	0	16597 0315	70750 1605	18612 5893	17453 0082	69073 8566
10-2014	0	0	10254 47	29134	41451 0	0	0	98235	35702 125	89758 9	57980 86	27827 0	37227 11	44433 5	77969 0123	0	19315 5108	53138 442	0	11947 935	27489 6665
11-2014	0	0	21473 0	56285	11953 3	0	0	33427	10667 098	30543 0	16441 33	94689	57208 3	50399 2	45418 1092	46851 099	43817 594	12657 2817	14741 6521	81312 336	13048 0068



---

Mónica María Martínez Fausto

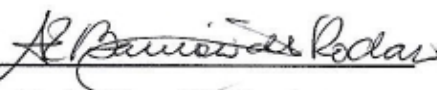
Tesista



---

PhD. Margaret Dix

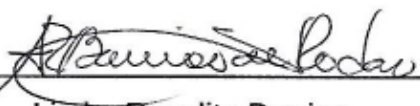
Asesora



---

Licda. Rosalito Barrios

Revisora



---

Licda. Rosalito Barrios

Directora Escuela de Biología



---

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda

Decano Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia