

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE LA ZONA LITORAL Y
SUBLITORAL DEL LAGO DE ATITLÁN, SOLOLÁ**



Presentado por:

T.A. JOSÉ ROBERTO ORTIZ

**Para otorgarle el título de
LICENCIADO EN ACUICULTURA**

Guatemala, febrero de 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE LA ZONA LITORAL Y
SUBLITORAL DEL LAGO DE ATITLÁN, SOLOLÁ**



Presentado por:

T.A. JOSÉ ROBERTO ORTIZ

**Para otorgarle el título de
LICENCIADO EN ACUICULTURA**

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA

Consejo Directivo

| | |
|---|--|
| Presidente | M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle |
| Secretaria | M.A. Olga Marina Sánchez Cardona |
| Representante Docente | MBA. Allan Franco de León. |
| Representante del Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas | M.Sc. Adrián Mauricio Castro López |
| Representante Estudiantil | T.A. Francisco Emanuel Polanco Vásquez |
| Representante Estudiantil | P.F. María José Mendoza Arzú |

El M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle, Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA- después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación del estudiante universitario **T.A. JOSÉ ROBERTO ORTIZ** titulado **“MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE LA ZONA LITORAL Y SUBLITORAL DEL LAGO DE ATITLÁN, SOLOLÁ”** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.
IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle
DIRECTOR



Guatemala, febrero 2015

/magda



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Coordinación Académica
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen del asesor Licenciada Fátima Reyes y la aprobación de la Encargada de EPS M.Sc. Irene Franco Arenales, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria, **José Roberto Ortiz**, titulado "MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE LA ZONA LITORAL Y SUBLITORAL DEL LAGO DE ATITLÁN, SOLOLÁ" da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera



Guatemala, febrero del 2015

AGRADECIMIENTOS

A la tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala por ser mi casa de estudios y darme la oportunidad de convertirme en un profesional.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura por permitirme estudiar el agua, los recursos hidrobiológicos y convertirse en mi segundo hogar.

A la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno – AMSCLAE- y al Departamento de Investigación y Calidad Ambiental -DICA- por todo el apoyo y el aprendizaje a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación.

A mi asesora M. Sc Fátima Reyes por su apoyo incondicional, el conocimiento y la amistad brindada a lo largo del desarrollo del trabajo de investigación.

Al personal del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental -DICA- Flor Barreno, Isabel Arriola, Cristina Martínez, Julio Méndez, Domingo Ujpán, Natanael Xamínez y Juan Carlos Bocel por su apoyo, amistad, hospitalidad y cariño.

A mi profesora M. Sc Norma Edith Gil Rodas de Castillo por apasionarme al mundo de la Limnología y creer en mí en todo momento.

A mis hermanos acuicultores de la promoción 2013 CEMA-USAC por su amistad y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

- A DIOS: Por su amor incondicional y cada una de las bendiciones que derrama día con día en mi vida.
- A MI MADRE: Ileana Ortiz Por ser la persona que más amo en este mundo, mi modelo a seguir. Por todo el amor, apoyo, sacrificio y dedicación.
- A MI ABUELITO: Ricardo Ortiz Por ser como mi padre, su conocimiento, su sabiduría y su cariño.
- A MIS HERMANOS: Por ser mi compañía y apoyarme en todo momento.
- A MIS AMIGOS: Por compartir muchos de los mejores momentos de mi vida y ser como hermanos, estando en las buenas y en las malas.

RESUMEN

El lago de Atitlán es un cuerpo de agua léntico tropical de altura, del cual se tiene poca información científica relacionada al componente biológico, más específicamente a la riqueza, abundancia y a las dinámicas de los macroinvertebrados bentónicos, los cuales forman parte importante de la región litoral y sublitoral. Un macroinvertebrado acuático es un organismo que se encuentra entre las 200 y 500µm de longitud y puede habitar distintos microhábitats donde encuentre un sustrato adecuado para su desarrollo, como arena, grava, piedras, hojarasca, vegetación acuática, entre otros.

Estos organismos cumplen funciones importantes en el ecosistema acuático como lo son el reciclamiento de nutrientes, descomposición de la materia orgánica, forman parte de la red trófica y pueden ser bioindicadores de las condiciones ambientales de un cuerpo de agua.

En el presente trabajo, se realizó una descripción de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, en relación a su diversidad, abundancia y distribución. Así mismo se relacionaron los distintos taxa y las variables fisicoquímicas y granulométricas de la zona bentónica para determinar si la distribución de los organismos se ve influenciada por las condiciones ambientales.

Se realizaron dos muestreos (abril y julio del 2014), en los cuales se recolectaron muestras de macroinvertebrados bentónicos, sedimento y agua de la zona béntica de cuatro sitios (Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Buenaventura y San Juan La Laguna) ubicados en la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán a 1, 15, 25 y 50m de profundidad. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno -AMSCLAE-.

Se recolectaron 5229 individuos, 1737 durante la época seca (abril) y 3492 en la época lluviosa (julio). Se identificaron 18 taxas correspondientes a 15 familias, 12 órdenes y nueve clases. Las clases que presentaron mayor abundancia y se distribuyeron en todos los sitios fueron Gasteropoda (46.57%) y Clitellata (37.73%). En menor abundancia se encontraron

Malacostraca (7.44%) e Hirudinea (3.52%), el resto se encontró por debajo del 2%. Los tres taxas dominantes fueron la familia Thiaridae (morfo especie 1) con 2391 individuos, seguido de Haplotaxida (Clitellata) e *Hyaella* sp. (Hyaellidae: Amphipoda) con 1973 y 389 individuos respectivamente.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre sitios y entre profundidades en relación a la riqueza y abundancia, a excepción de Santiago Atitlán a 15m. Tampoco se evidenciaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la diversidad y la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos entre las estaciones del año (seca y lluviosa).

Mediante una prueba de permutaciones de Monte Carlo se evidenció que la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán no se ve influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua ni por la composición granulométrica del sedimento.

El presente estudio es un primer esfuerzo para describir las comunidades de macroinvertebrados bentónicos del lago de Atitlán, pudiendo ser utilizada como línea base para futuras investigaciones científicas.

ABSTRACT

Lake Atitlán is a lentic tropical high water body, of which there is not scientific information related to the biological component, specifically the richness, abundance and the dynamics of the benthic macroinvertebrates, which take an important part of the littoral and sublittoral zone. An aquatic macroinvertebrate is an organism that is into 200 and 500 μ m of length and can inhabit different microhabitats where they can find an adecuated substrate for its development, like sand, clay, rocks, death leaves, aquatic vegetation among others.

These organisms fulfill important functions in the aquatic ecosystem as the nutrient recycling, organic matter decomposition, be part of the trophic web and could be bioindicators of the environmental conditions of a water body.

This work, describes the benthic macroinvertebrate communities of the littoral and sublittoral zone of lake Atitlán, in relation to the diversity, abundance and distribution, as the existent relationship between the different taxa and the water physicochemical and granulometric variables of the benthic zone.

It was realized two samplings, in april and july of 2014, in which samples of benthic macroinverbrates, sediment and water of the benthic zone were collected at four sites situated in the littoral and sublittoral zone of lake Atitlán, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Buenaventura and San Juan La Laguna at 1, 15, 25 y 50m of depth. The samples were done at the Water Quality Laboratory of AMSCLAE.

There were collected 5229 individuals, 1737 during the dry season (april) and 3492 in the rainy season (july). There were identifying 18 taxas corresponding to 15 families, 12 orders, and nine classes. The classes that present major abundance and were distributed in all the sites were Gastropoda (46.57%) and Clitellata (37.73%). In less abundance there were found Malacostraca (7.44%) and Hirudinea (3.52%), the rest that was found was under 2%. The three dominant taxas were the morfo-specie 1 of the family Thiaridae with 2391 individuals,

followed of Haplotaxida (Clitellata) and *Hyaella sp.* (Hyaellidae: Amphipoda) with 1973 and 389 organisms respectively.

There weren't significant differences ($p > 0.05$) among sites and depths in relation to the abundance and richness, with and exception of Santiago Atitlán at 15m. Neither were evidenced significant differences ($p > 0.05$) in the diversity and abundance of the benthic macroinvertebrate communities among the dry and rainy season.

By making a Monte Carlo permutation test it was evidenced that the distribution of the benthic macroinvertebrates of the littoral and sublittoral zone of lake Atitlán is not influenced by the physicochemical conditions of the water nor of the granulometrical composition of the sediment.

The present study is a first effort to describe the communities of benthic macroinvertebrates of lake Atitlán, being used as a base line for future scientifically researches.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 3.1 Marco referencial | 3 |
| 3.2 Marco conceptual | 4 |
| 3.2.1 Sistemas lénticos | 4 |
| 3.2.2 Fauna bentónica | 5 |
| 3.2.3 Macroinvertebrados acuáticos | 5 |
| 4. OBJETIVOS | 10 |
| 4.1 Objetivo general | 10 |
| 4.2 Objetivos específicos | 10 |
| 5. METODOLOGÍA | 11 |
| 5.1 Ubicación geográfica | 11 |
| 5.1.1 Descripción de los sitios de muestreo | 12 |
| 5.2 Variables | 18 |
| 5.3 Diseño | 19 |
| 5.3.1 Selección de la muestra | 19 |
| 5.3.2 Muestreo | 19 |
| 5.4 Procedimiento | 20 |
| 5.4.1 Recolecta de macroinvertebrados bentónicos | 20 |
| 5.4.2 Identificación de macroinvertebrados bentónicos | 22 |
| 5.4.3 Toma de muestras de agua y medición de parámetros fisicoquímicos | 23 |
| 5.4.4 Determinación de granulometría | 26 |
| 5.5 Análisis de datos | 28 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 29 |
| 6.1 Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral | 29 |
| 6.1.1 Riqueza y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos | 29 |
| 6.2 Parámetros fisicoquímicos del agua | 39 |
| 6.2.1 Oxígeno disuelto | 39 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 6.2.2 | Temperatura | 40 |
| 6.2.3 | Potencial de hidrógeno | 41 |
| 6.2.4 | Conductividad | 42 |
| 6.2.5 | Sólidos disueltos totales | 43 |
| 6.2.6 | Demanda bioquímica de oxígeno | 44 |
| 6.2.7 | Turbidez | 45 |
| 6.2.8 | Ortofosfatos | 46 |
| 6.2.9 | Salinidad | 47 |
| 6.3 | Granulometría del sedimento | 48 |
| 6.3.1 | Arena gruesa | 50 |
| 6.3.2 | Arena fina | 51 |
| 6.3.3 | Limo | 51 |
| 6.3.4 | Limo fino y arcilla | 52 |
| 6.4. | Relación entre el ensamble de macroinvertebrados bentónicos y las variables físicoquímicas y granulométricas de la zona litoral y sublitoral | 53 |
| 6.4.1 | Análisis de componentes principales (ACP) | 53 |
| 6.4.2 | Análisis de correspondencia canónico (ACC) | 56 |
| 7. | CONCLUSIONES | 62 |
| 8. | RECOMENDACIONES | 63 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 64 |
| 10. | ANEXO | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Figura No. 1 | Zonación de un lago | 4 |
| Figura No. 2 | Ubicación geográfica del lago de Atitlán, Sololá | 11 |
| Figura No. 3 | Ubicación de los sitios de muestreo en el lago de Atitlán, Sololá | 12 |
| Figura No. 4 | Bahía de Santiago Atitlán, lago de Atitlán | 13 |
| Figura No. 5 | Ubicación de los puntos de muestreo en Santiago Atitlán, Sololá | 13 |
| Figura No. 6 | Bahía de San Lucas Tolimán, lago de Atitlán | 14 |
| Figura No. 7 | Ubicación de los puntos de muestreo en San Lucas Tolimán, Sololá | 14 |
| Figura No. 8 | Bahía de San Buenaventura, lago de Atitlán | 15 |
| Figura No. 9 | Ubicación de los puntos de muestreo en San Buenaventura, Sololá | 16 |
| Figura No. 10 | San Juan La Laguna, lago de Atitlán | 17 |
| Figura No. 11 | Ubicación de los puntos de muestreo en San Juan La Laguna, Sololá | 17 |
| Figura No. 12 | Draga tipo Ekman | 20 |
| Figura No. 13 | Colecta de muestras de sedimento con una draga tipo Ekman | 20 |
| Figura No. 14 | Toma de submuestra de sedimento para análisis granulométrico | 21 |
| Figura No. 15 | Tamizaje <i>In situ</i> de la muestra de sedimento | 21 |
| Figura No. 16 | Identificación y cuantificación de macroinvertebrados bentónicos | 22 |
| Figura No. 17 | Botella de Van Dorn | 23 |
| Figura No. 18 | Toma de muestra de agua para análisis de nutrientes y turbidez | 24 |
| Figura No. 19 | Medición de parámetros fisicoquímicos <i>In situ</i> | 24 |
| Figura No. 20 | Determinación de DBO | 25 |

| | | |
|----------------------|---|----|
| Figura No. 21 | Determinación de la turbidez | 25 |
| Figura No. 22 | Secado de las muestras de sedimento | 26 |
| Figura No. 23 | Pesaje y separación de las partículas de sedimento de acuerdo a su tamaño | 27 |
| Figura No. 24 | Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por sitio de muestreo en época seca y lluviosa | 30 |
| Figura No. 25 | Densidades de los cuatro grupos principales de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo durante la época seca (abril) | 37 |
| Figura No. 26 | Densidades de los cuatro grupos principales de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo durante época lluviosa (julio) | 37 |
| Figura No. 27 | Perfiles del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en los sitios de muestreo | 39 |
| Figura No. 28 | Perfiles de la temperatura en los sitios de muestreo | 41 |
| Figura No. 29 | Perfiles de pH en los sitios de muestreo | 41 |
| Figura No. 30 | Perfiles de conductividad en los sitios de muestreo | 42 |
| Figura No. 31 | Perfiles de sólidos disueltos totales en los sitios de muestreo | 43 |
| Figura No. 32 | Perfiles de la demanda bioquímica de oxígeno en los sitios de muestreo | 44 |
| Figura No. 33 | Perfiles de turbidez en los sitios de muestreo | 45 |
| Figura No. 34 | Perfiles de concentraciones de ortofosfatos en los sitios de muestreo | 46 |
| Figura No. 35 | Perfiles de salinidad en los sitios de muestreo | 47 |
| Figura No. 36 | Proporciones de arena gruesa en los sitios de muestreo | 50 |
| Figura No. 37 | Proporciones de arena fina en los sitios de muestreo | 51 |
| Figura No. 38 | Proporciones de limo en los sitios de muestreo | 52 |
| Figura No. 39 | Proporciones de limo fino y arcilla en los sitios de muestreo | 53 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figura No. 40 | ACP de las variables ambientales de los sitios de muestreos en abril (<i>a</i>) y julio (<i>j</i>) | 55 |
| Figura No. 41 | Ordenación de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables físico-químicas | 58 |
| Figura No. 42 | Ordenación de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y la granulometría del sustrato | 60 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Cuadro No. 1 | Variables biológicas y ambientales evaluadas en cada sitio y punto de muestreo | 18 |
| Cuadro No. 2 | Tipo y número de muestras por muestreo en el lago de Atitlán | 19 |
| Cuadro No. 3 | Clasificación de suelos según la USCS | 27 |
| Cuadro No. 4 | Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de estudio del lago de Atitlán | 29 |
| Cuadro No. 5 | Riqueza de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de estudio del lago de Atitlán | 31 |
| Cuadro No. 6 | Listado taxonómico y abundancia de macroinvertebrados bentónicos por sitio y profundidad de muestreo | 34 |
| Cuadro No. 7 | Porcentajes de arena, limo y arcilla de las muestras de sedimento | 49 |

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del lago de Atitlán sustenta una población multiétnica, la cual se ha duplicado de 200 000 personas hasta más de 400 000 en la última década. Esta población depende de las dinámicas del ecosistema de la cuenca para garantizar la provisión de agua para consumo y producción alimenticia, atractivo turístico, pesca, medio de transporte, bosques para leña y para estabilizar las pendientes, entre otros. La salud ambiental es clave para los habitantes de la cuenca del lago de Atitlán, por lo tanto, un entendimiento de su estado actual y sus dinámicas es importante (Dix *et al.*, 2012).

En el lago de Atitlán existen grandes vacíos de información acerca de las especies y la ecología de los macroinvertebrados acuáticos propios del ecosistema, siendo de gran importancia para la economía de muchas comunidades asociadas al cuerpo de agua (*e.g.*, caracoles y cangrejos) (Dix *et al.*, 2003).

La mayor parte de los estudios que evalúan la calidad del agua y el estado ecológico de ambientes lénticos ubicados en regiones tropicales, han concentrado sus esfuerzos en las características fisicoquímicas y en la biota de la zona limnética (Brezonik y Fox, 1974), careciendo de información relacionada a la zona litoral y sublitoral de los cuerpos de agua.

El principal objetivo de la investigación fue describir el ensamble de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, y las relaciones que presentan con algunas variables ambientales.

Así mismo, el trabajo pretende que la información obtenida sea utilizada como una línea base, para que en el futuro se puedan determinar las dinámicas y las interacciones con otros organismos o variables ambientales.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El lago de Atitlán se ha convertido en el cuerpo de agua receptor de desechos líquidos y sólidos provenientes de las poblaciones ubicadas en su cuenca, de igual forma del escurrimiento natural de campos agrícolas y el efecto de las tormentas ocurridas a lo largo de la historia (CEA, s.f.; Skinner, 2008). Dichas perturbaciones y detrimento de la calidad del agua, pueden afectar de manera directa la composición, riqueza y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en el lago.

De manera contrastante, la información científica relacionada a las dinámicas del lago de Atitlán y su cuenca son escasas, así como el conocimiento de los ensamblajes de macroinvertebrados en el neotrópico. Dicha información se encuentra fragmentada y esparcida en numerosas publicaciones europeas, norteamericanas y algunas suramericanas, de poca circulación (Roldán y Ramírez, 2008).

Dichos organismos pueden verse influenciados por ciertas características bentónicas y pelágicas de los lagos. Son de importancia para la recirculación de los nutrientes, mezcla de sedimentos, descomposición de la materia orgánica y como fuente de alimento para consumidores secundarios como lo son peces y aves. El entendimiento de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos del lago puede revelar cambios que han ocurrido a lo largo del tiempo en dicho ecosistema y pueden ser utilizados como bioindicadores de la salud del lago de Atitlán.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco referencial

Se estudió la distribución y abundancia estacional de los macroinvertebrados bentónicos en un lago hipereutrófico subtropical de Florida, donde determinaron que la comunidad de macroinvertebrados bentónicos estaba compuesta principalmente por oligoquetos (56.1%), chironomidos (37.1%) y chaoboridos (5.7%). El número de taxa y sus respectivas densidades estaban correlacionados negativamente con la profundidad y positivamente con el tamaño de gránulos del sustrato y el oxígeno disuelto (Cowell y Vodopich, 1980).

Se determinó la distribución vertical de la macrofauna bentónica del lago de un antiguo volcán (Cerro Chato, Alajuela, Costa Rica) a una profundidad de 3 y 4m, utilizando veinte núcleos de 17cm²x 10cm. El estudio reportó un total de 13 especies pertenecientes a siete grupos taxonómicos. Los grupos dominantes fueron los Chironomidos (Diptera) y oligoquetos (Oligochaeta), los cuales corresponden al 76% y 16.6% del total, respectivamente (Jiménez y Springer, 1994).

Se realizó una investigación sobre los invertebrados bentónicos del lago Cote en Costa Rica, siguiendo un transecto de diez estaciones, desde la orilla al centro del lago durante junio y agosto. Se determinó la existencia de un gradiente de distribución debido a la profundidad (0 a 12m) y tipo de sustrato. El limo y la arcilla se incrementaron con la profundidad, excepto en el centro del lago. Además se estableció que el lago es similar a otros lagos tropicales por presentar algunos géneros de dípteros, tales como *Procladius*, *Tanytarsys* y *Chaoborus*, oligoquetos y por la composición de la meiofauna, que incluyó algunos organismos del orden Coleoptera y Trombidiformes (Sibaja-Cordero y Umaña-Villalobos, 2008).

Se estudió la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en ocho cuerpos lénticos (Yaxhá, Sacnab, Petenchel, Quexil, Salpetén, Macanché, Sacpuy y Peten Itzá) ubicados en la región Maya al norte de Guatemala. En cada sitio de muestreo se recolectaron muestras de macroinvertebrados con una draga Ekman y se tomaron mediciones de 9 variables físico-

químicas. Se registró un total de 38 taxa, siendo los grupos más diversos Odonata, Coleoptera, Trichoptera, Ephemeroptera. La distribución de los macroinvertebrados acuáticos estuvo influenciada por el tipo de sustrato y las variaciones fisicoquímicas. En el estudio también se determinó que la diversidad de especies fue alta en los sitios donde no existía una influencia antropogénica, y tendía a decrecer a medida que empezaba a haber cierto grado de perturbación humana (Reyes, 2013).

3.2 Marco conceptual

3.2.1 Sistemas lénticos

Los sistemas lénticos son aquellos de aguas quietas o estancadas como lagos, charcas y represas, regularmente, en ellos se presentan cuatro zonas (Figura No. 1):

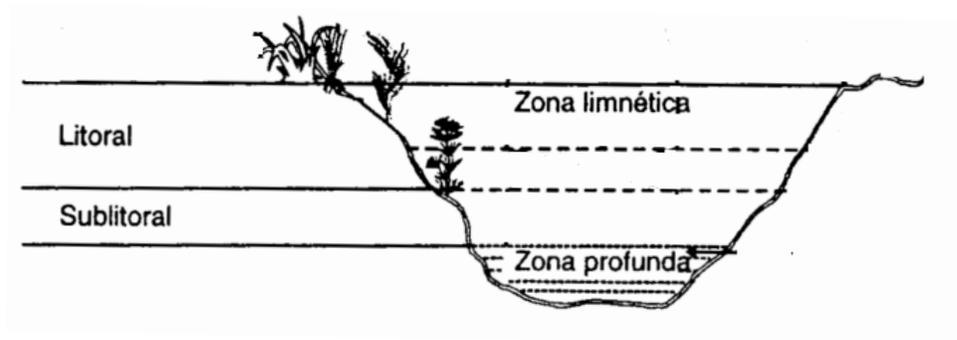


Figura No. 1 Zonación de un lago (Modificado de Roldán y Ramírez, 2008)

- Zona litoral, es la región más productiva de un cuerpo de agua, ya que presenta altas concentraciones de nutrientes, y además hay una gran diversidad de organismos entre los cuales se pueden mencionar peces, gasterópodos, crustáceos, insectos acuáticos, entre otros. En la zona litoral se encuentran las áreas con vegetación acuática sumergida, emergente y flotante (Roldán y Ramírez, 2008).
- Zona sublitoral, es aquella que carece de macrófitas acuáticas debido a la presión hidrostática del agua. La penetración de la luz se ve disminuida en comparación con la zona litoral y es menos productiva. La influencia de los aportes de materia orgánica alóctonos provenientes de la cuenca es menor (Roldán y Ramírez, 2008).

- Zona profunda, en los cuerpos de agua, la zona profunda es aquella desprovista de luz solar, donde se presentan las mayores presiones hidrostáticas y las concentraciones de oxígeno disuelto son bajas. Las condiciones ambientales pueden limitar el número de especies que puedan desarrollarse en ella (Roldán y Ramírez, 2008).
- Zona limnética, son las aguas abiertas en donde solo unas pocas especies flotantes pueden habitar. Sus comunidades características son el plancton (bacterias, algas, hongos e invertebrados) y el necton (peces principalmente) (Roldán y Ramírez, 2008).

3.2.2 Fauna bentónica

El término bentos o fauna bentónica se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de los lagos y ríos adheridos o enterrados en el sustrato, ya sean fondos lodosos o bien arenosos y pedregosos; otros sobre él, adheridos a rocas, piedras y restos de vegetación. Algunos prefieren las orillas de ríos y lagos, donde viven adheridos a la vegetación ribereña (Roldán y Ramírez, 2008).

En los sedimentos lacustres, la fauna bentónica enfrenta problemas de establecimiento inicial en un sustrato adecuado, el acceso limitado al oxígeno disuelto y la dificultad de coleccionar alimento (López, 1988). Por lo que las comunidades de macroinvertebrados, pueden verse influenciadas por múltiples factores tales como: interacciones bióticas entre especies y por factores abióticos como temperatura, tipo de sustrato, profundidad, entre otras (Williams y Feltmate, 1992).

3.2.3 Macroinvertebrados acuáticos

El término de macroinvertebrados se refiere al grupo de organismos que se pueden observar a simple vista; es decir, en términos generales, todos aquellos que tienen tamaños superiores a 0.5mm de largo. Dentro de este grupo se incluyen los poríferos, hidrozoos, turbelarios,

oligoquetos, chironómidos, anfípodos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos (Roldán y Ramírez, 2008).

Por lo general, la zona litoral contiene el mayor número de especies de macroinvertebrados en los ambientes lénticos. Los ambientes lénticos poseen en general menos diversidad de microhábitats que los ambientes lóticos (Springer *et al.*, 2010).

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los ecosistemas lénticos está constituida principalmente por oligoquetos, nematodos, copépodos, protozoos y larvas de insectos (Ephemeroptera, Odonata, Coleoptera, Diptera, Trichoptera y Hemiptera) (Merrit *et al.*, 2008; Hanson *et al.*, 2010).

Filo Arthropoda: Subfilo Hexapoda

- Clase Insecta: Orden Odonata

Son organismos hemimetábolos (metamorfosis incompleta), que durante sus etapas inmaduras (ninfa) son acuáticos. Son depredadores, la mayoría de familias habitan sobre el fondo o la vegetación sumergida (Hanson *et al.*, 2010).

- Clase Insecta: Orden Trichoptera

Son organismos holometábolos (metamorfosis completa). Son acuáticos en sus etapas inmaduras (larva y pupa). Habitan una gran cantidad de microhábitats y su biología es muy diversa (Hanson *et al.*, 2010).

- Clase Insecta: Orden Diptera

Son holometábolos, este orden es principalmente terrestre, contiene más especies dulceacuícolas que cualquier otro grupo de macroinvertebrados. Las larvas y pupas presentan estadios acuáticos. Habitan una gran diversidad de tipos de agua y su biología es muy diversa, al igual que su morfología aunque de manera general nunca poseen patas verdaderas en el tórax (Hanson *et al.*, 2010).

La familia Chironomidae es uno de los grupos más comunes en sedimentos lacustres. Los adultos no son acuáticos, pero sus estadios larvarios pueden durar semanas o inclusive más de dos años dentro de los ecosistemas acuáticos. Esta familia es muy diversa e incluye organismos que consumen materia orgánica y materia en suspensión (suspensívoros) además de otros organismos (carnívoros). Generalmente dominan la biomasa, producción y diversidad del bentos lacustre (López, 1988).

Filo Arthropoda: Subfilo Crustacea

- Clase Maxillopoda: Subclase Copepoda

Los copépodos son uno de los grupos más diversos de crustáceos. Aproximadamente el 20% de las especies viven en agua dulce. Son microcrustáceos (generalmente <3mm), con un cuerpo cilíndrico, más ancho en la parte anterior que la posterior, con cinco pares de patas natatorias. Pueden habitar como parte del plancton o de la fauna bentónica, sus hábitos alimenticios son muy diversos de acuerdo a la especie (filtradores, depredadores o parásitos de peces) (Hanson *et al.*, 2010).

- Clase Ostracoda

Un tercio de las especies de este grupo habitan aguas dulceacuícolas. Son microcrustáceos (usualmente <3mm) que presentan un caparazón de dos valvas. El primer par de antenas está modificado para excavar, trepar o nadar. La mayoría de las especies habitan el fondo del agua y muchas son filtradoras (Hanson *et al.*, 2010).

- Clase Malacostraca: Orden Amphipoda

Alrededor del 20% de las especies descritas son de agua dulce, pero son menos comunes en las regiones tropicales (Hanson *et al.*, 2010). Los anfípodos son parte de la biota que habita el bentos de lagos de agua dulce. La gran mayoría son epibénticos omnívoros y requieren condiciones aeróbicas (López, 1988). Los anfípodos del género *Hyaella* (Hyaellidae), son muy comunes en los ecosistemas acuáticos tropicales. A veces se encuentran cientos de miles de estos organismos en quebradas u orillas de lagos enriquecidos con materia orgánica (Roldán y Ramírez, 2008).

Filo Mollusca

- Clase Gastropoda

Los caracoles son organismos muy comunes en la zona litoral de lagos y ríos. Se alimentan de detritus, perífiton, macrófitas acuáticas y algas. En algunos casos forman la base de la cadena alimenticia para peces depredadores. Los caracoles de agua dulce presentan extensas variaciones intraespecíficas en su ciclo de vida, productividad, morfología y hábitos alimenticios, que les permiten adaptarse a los ecosistemas acuáticos y a distintas condiciones ambientales (Brown, 2001).

Los gasterópodos poseen una concha enrollada en espiral y su tamaño puede variar entre 2 y 70mm. Viven por lo regular en aguas abundantes de carbonato de calcio. Están asociados a lugares con mucha vegetación acuática y materia orgánica en descomposición. Abundan en aguas quietas y poco profundas. Para el neotrópico se han reportado como de amplia distribución las familias Sphaeriidae, Unionidae, Thiaridae, Hydrobiidae, Melaniidae, Chilinnidae, Lymnaeidae, Physidae y Planorbidae (Roldán y Ramírez, 2008).

- Clase Bivalvia

Solamente un 16% de las especies descritas son dulceacuícolas. Su tamaño puede variar entre 2 a 180mm y su color puede ser pardo claro, verde, cobrizo o negro. Habitan enterrados en el sustrato o fijados a la vegetación acuática. Utilizan sus branquias para la respiración y la filtración de partículas en suspensión como fitoplancton y detritus del agua. Son más abundantes en aguas no contaminadas. Por lo general incuban los huevos dentro de las branquias y liberan las almejas juveniles al medio acuático (Hanson *et al.*, 2010).

Filo Annelida: Clase Clitellata

La clase Clitellata es un grupo monofilético que incluye la gran mayoría de anélidos dulceacuícolas entre los que se pueden mencionar a los oligoquetos y las sanguijuelas (Hanson *et al.*, 2010).

Los oligoquetos son organismos generalmente pequeños, su tamaño varía entre 1 y 30mm. Son consumidores de depósitos orgánicos, algas filamentosas y diatomeas. Pueden dominar

sedimentos ricos en materia orgánica, ya que son resistentes a condiciones anóxicas. Pueden sobrepasar densidades de 200 000 organismos/m² (López, 1988). La familia mejor conocida es Tubificidae y los géneros más representativos del neotrópico son: *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *L. udekemianus*, *L. claparedeanus*, *Bothrioneurum sp.*, *Brachiura sowerbyi*, *Dero sp.* y *Aulophorus sp.* (Roldán y Ramírez, 2008).

En el caso de las sanguijuelas, aproximadamente un 70% de las especies descritas viven en agua dulce, son ectoparásitas o depredadoras de otros animales (Hanson *et al.*, 2010).

Filo Platyhelminthes: Clase Turbellaria

Los turbelarios (grupo parafilético) son principalmente depredadores, aunque también pueden alimentarse de cadáveres y algas. Habitan el fondo del agua debajo de piedras, hojas o en los espacios intersticiales. El grupo principal de turbelarios en el agua dulce y el más estudiado es el orden Tricladida, en donde algunas especies pueden llegar a alcanzar los cinco centímetros de longitud (Hanson *et al.*, 2010).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Describir el ensamble de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, Sololá.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar la riqueza y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán.
- Establecer la distribución espacial de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán.
- Evaluar la relación del ensamble de macroinvertebrados bentónicos con las variables fisicoquímicas y granulométricas de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán.

5. METODOLOGÍA

5.1 Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en el lago de Atitlán, el cual se encuentra ubicado en el occidente de Guatemala en el departamento de Sololá. Alrededor del mismo están los municipios: San Francisco Panajachel, Santa Cruz La Laguna, San Pablo La Laguna, San Juan La Laguna, San Pedro La Laguna, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó y Santa Catarina Palopó. Se encuentra a 1562m.s.n.m y forma parte de la cuenca del lago de Atitlán con una extensión de 541km² (Chandra *et al.*, 2013) (Figura No. 2).

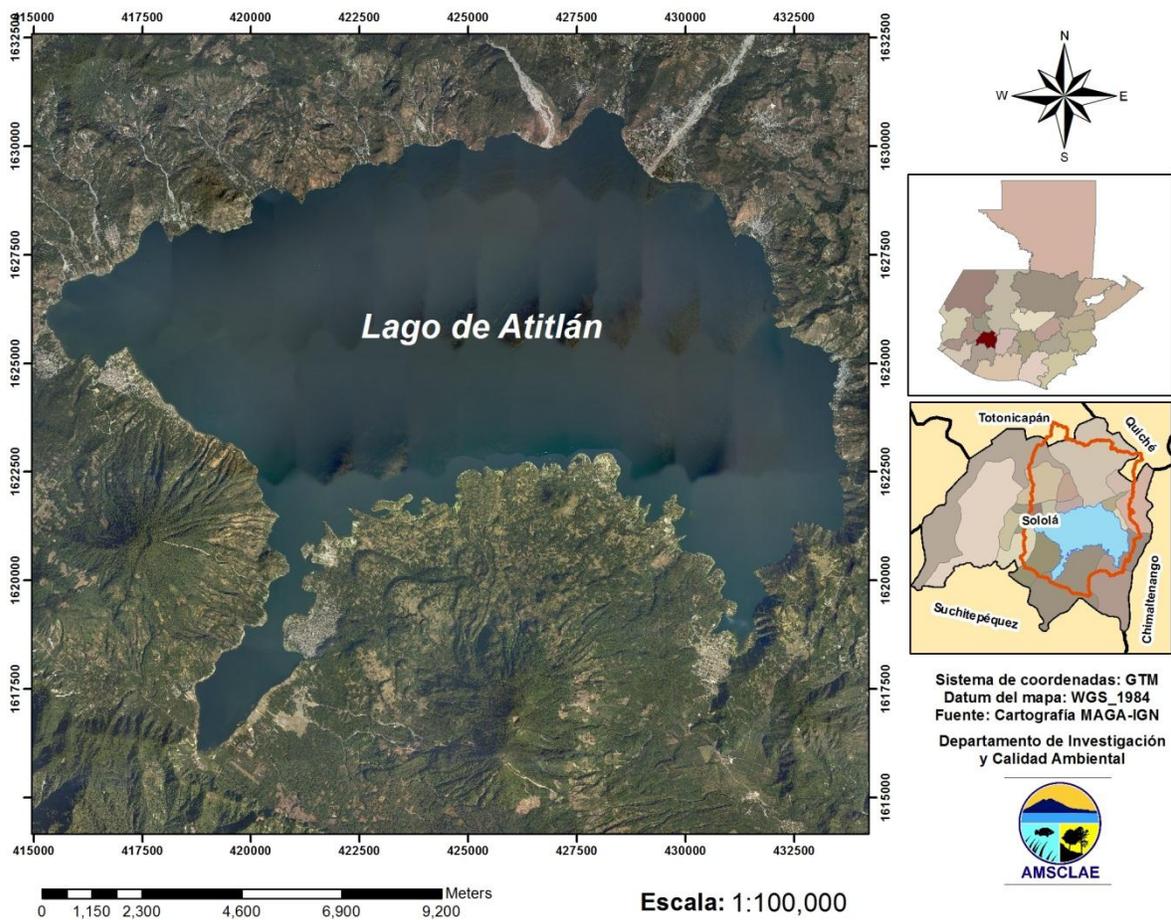


Figura No. 2 Ubicación geográfica del lago de Atitlán, Sololá (DICA/AMSCLAE, 2014)

5.1.1 Descripción de los sitios de muestreo

Para la realización del trabajo de investigación, se seleccionaron cuatro sitios de muestreo, Santiago Atitlán (SA), San Lucas Tolimán (SLT), San Buenaventura (SB) y San Juan La Laguna (SJLL) (Figura No. 3).

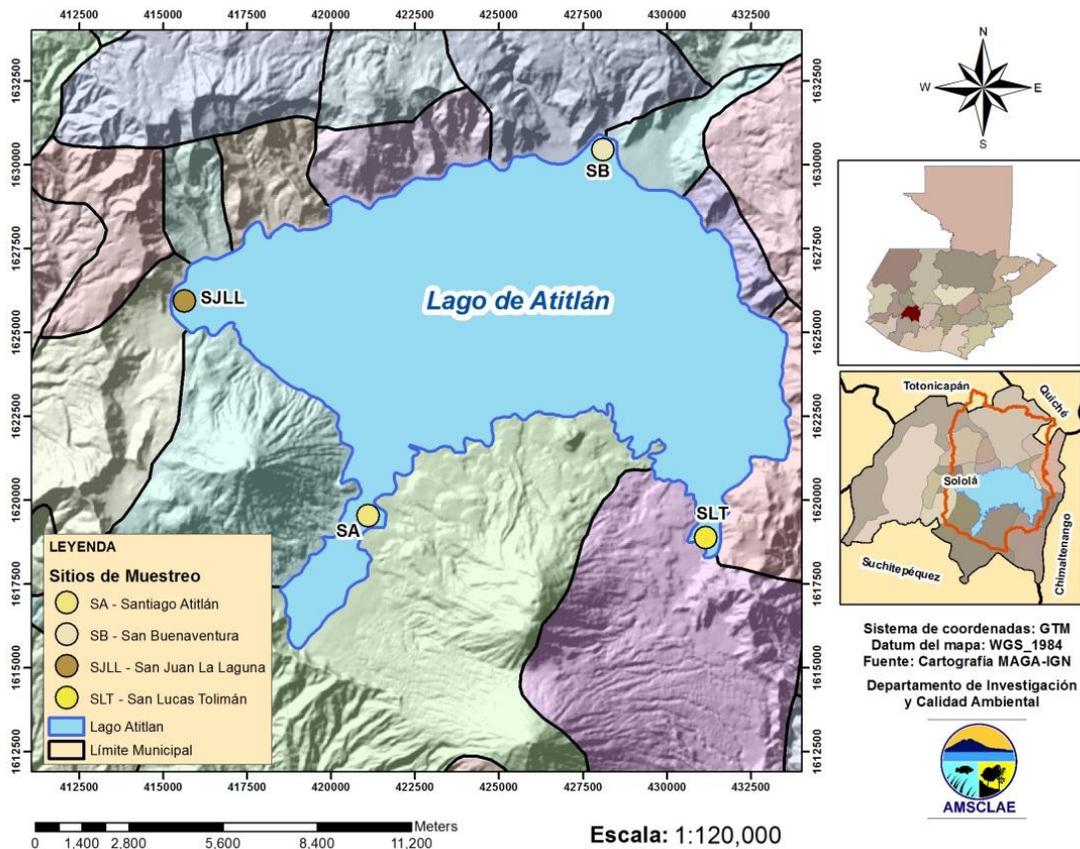


Figura No. 3 Ubicación de los sitios de muestreo en el lago de Atitlán, Sololá (DICA/AMSCLAE, 2014)

En cada sitio de muestreo fueron seleccionados cuatro puntos ubicados a 1, 15, 25 y 50m de profundidad (Anexo No. 1).

- Santiago Atitlán

El transecto en la bahía de Santiago Atitlán se realizó en puntos cercanos al muelle principal del municipio. El punto de un metro de profundidad presentaba un sustrato

predominantemente arenoso con algunas rocas de tamaño considerable, estaba ubicado en una zona donde personas de la comunidad lavan ropa y hay construcciones en la orilla, siendo así el sitio con mayor intervención antropogénica. A 15 metros de profundidad se encontró un sustrato conformado por una masa densa de algas muertas en el muestreo de julio. A 25 y a 50 metros se encontró un sustrato con apariencia limosa pero con contenido de arena (Figura No. 4 y 5).



Figura No. 4 Bahía de Santiago Atitlán, lago de Atitlán (Trabajo de campo, 2014)

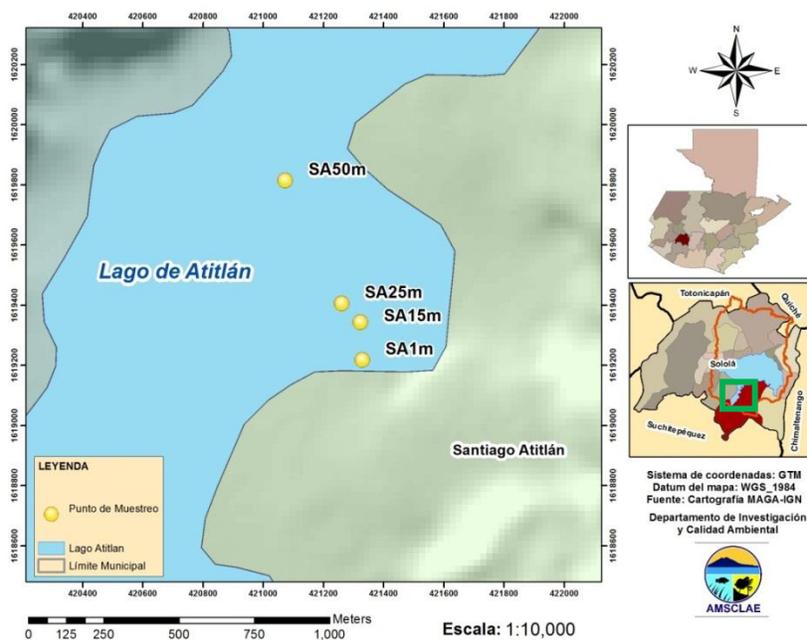


Figura No. 5 Ubicación de los puntos de muestreo en Santiago Atitlán, Sololá (DICA/AMSCLAE, 2014)

- San Lucas Tolimán

El transecto dentro de la bahía de San Lucas Tolimán se realizó frente al muelle principal del municipio. El punto ubicado a un metro de profundidad presentaba un sustrato rocoso arenoso, con presencia de basura y abundantes rocas con perfiton. A 15 metros el sedimento presentaba mal olor y una coloración grisácea. En relación a los 25 y 50m, presentaban un sustrato formado por limo, arena y conchas de gasterópodos (Figura No. 6 y 7).



Figura No. 6 Bahía de San Lucas Tolimán, lago de Atitlán (Trabajo de campo, 2014)

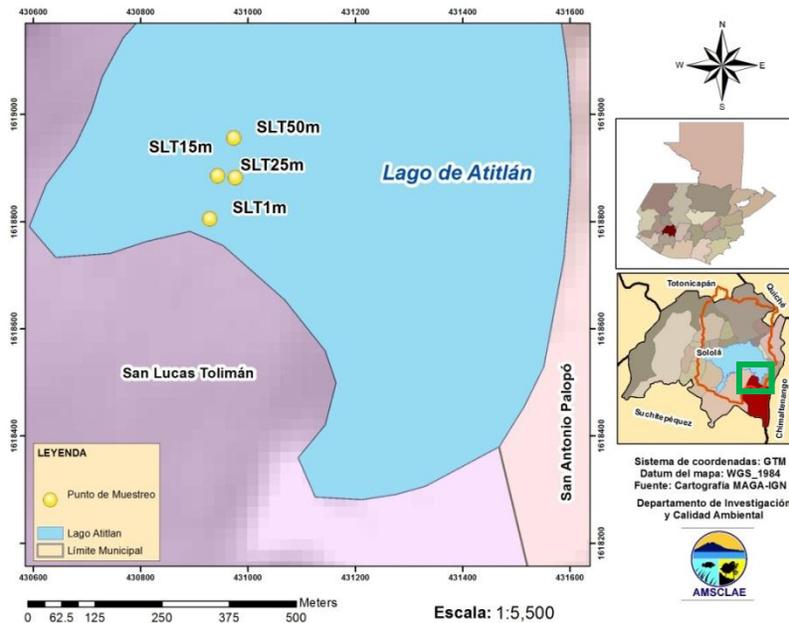


Figura No. 7 Ubicación de los puntos de muestreo en San Lucas Tolimán, Sololá (DICA/AMSCLAE, 2014)

- San Buenaventura

El transecto de la bahía de San Buenaventura se realizó entre los municipios de Panajachel y Sololá. El punto de muestreo ubicado a un metro, se encontraba cercano al muelle del hotel Riviera de Atitlán; se encontraba cercano a una masa de *Hydrilla verticillata*, con un sustrato arenoso rocoso. En relación a los puntos ubicados a 15 y 25m de profundidad, el sustrato estaba conformado por arena principalmente y limo. A 50m, se evidenció un contenido superior de limo y se observaron fragmentos de bolsas plásticas. El sitio se caracterizaba por presentar fuertes vientos a toda hora (Figura No. 8 y 9).



Figura No. 8 Bahía de San Buenaventura, lago de Atitlán (Trabajo de campo, 2014)

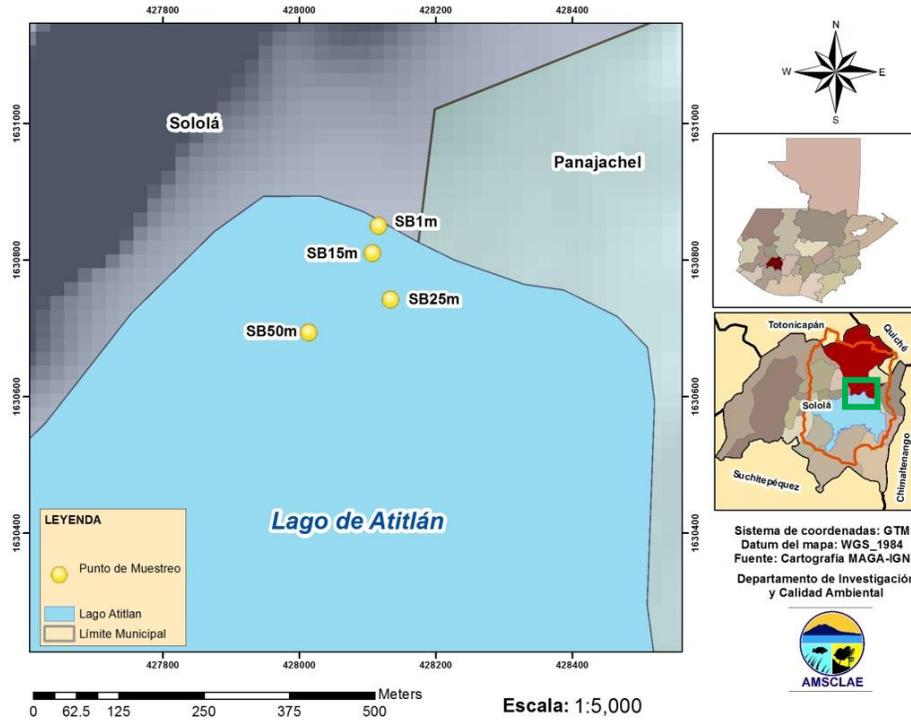


Figura No. 9 Ubicación de los puntos de muestreo en San Buenaventura, Sololá
(DICA/AMSCLAE, 2014)

- San Juan La Laguna

El transecto del municipio de San Juan La Laguna se realizó alejado del muelle principal, presentándose únicamente propiedades privadas en las orillas del mismo. Dicho sitio de muestreo se caracterizó por presentar aguas turbias. El punto correspondiente a un metro de profundidad se encontraba en una playa privada, pero en el muestreo de junio la mayor parte del lugar se encontraba inundado por el aumento en el nivel del lago de Atitlán. A 15m el sustrato era principalmente arenoso, mientras que a 25 y 50m se observó un incremento en el porcentaje de limo en las muestras de sedimento (Figura No. 10 y 11).



Figura No. 10 San Juan La Laguna, lago de Atitlán (Trabajo de campo, 2014)

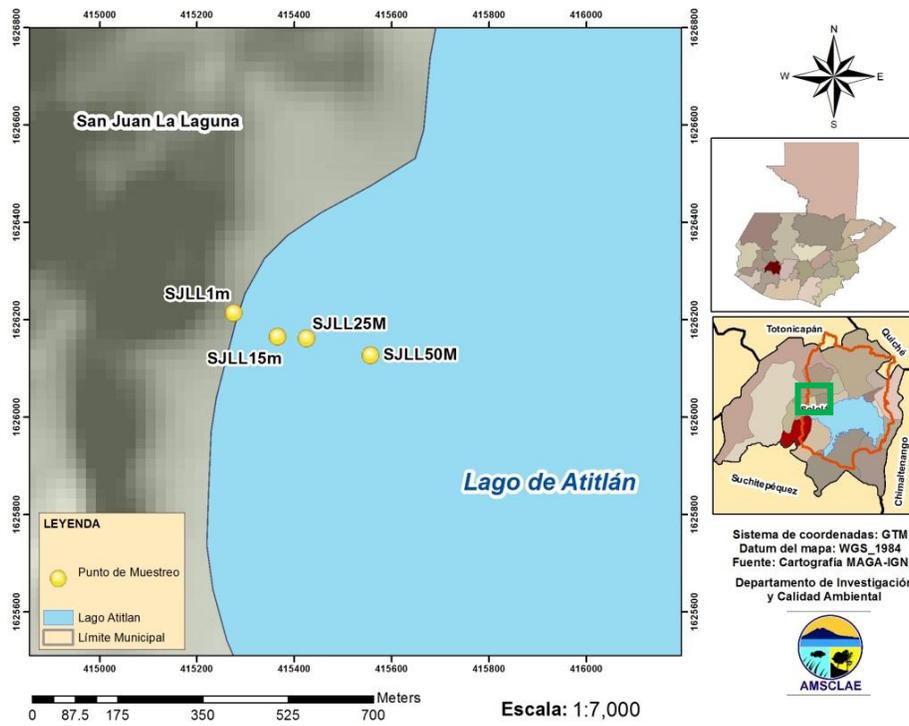


Figura No. 11 Ubicación de los puntos de muestreo en San Juan La Laguna, Sololá (DICA/AMSCLAE, 2014)

5.2 Variables

En cada punto de muestreo se tomaron muestras de macroinvertebrados bentónicos, sedimentos para análisis granulométrico y agua para la determinación de oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos disueltos totales, conductividad, salinidad, demanda bioquímica de oxígeno en 5 días, turbidez, ortofosfatos y salinidad (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1 Variables biológicas y ambientales evaluadas en cada sitio y punto de muestreo

| Variable | Indicador |
|---|--|
| Macroinvertebrados bentónicos | Taxa |
| Oxígeno disuelto (OD) | % de saturación |
| Potencial de hidrógeno (pH) | Unidades de pH |
| Temperatura del agua (T) | °C |
| Sólidos disueltos totales (TDS) | mg/L |
| Conductividad (Con) | µS/cm |
| Salinidad (Sal) | g/L |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO) | mg/L |
| Turbidez (Turb) | Unidad Nefelométrica de Turbidez (UNT) |
| Ortofosfatos (PO ₄) | µg/L |
| Sedimento | % de arena gruesa (%AG), arena fina (%AF), limo (%L) y arcilla (%LA) |

Fuente: Trabajo de campo, 2014.

5.3 Diseño

5.3.1 Selección de la muestra

Los sitios y puntos de muestreo fueron seleccionados a juicio del investigador tomando en cuenta la profundidad, el tipo de sustrato presente en el área y mapas generados por el Departamento de Investigación y Calidad Ambiental -DICA- de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno -AMSCLAE-, en los que se evaluaron las características físicas y naturales de la zona litoral del lago de Atitlán (Anexo No. 2).

Las muestras fueron colectadas en áreas que estuvieran libre de macrófitas acuáticas, tales como la *Hydrilla verticillata*, ya que impiden una adecuada toma de muestra de sedimento mediante la draga de Ekman.

5.3.2 Muestreo

Se realizaron dos muestreos, uno durante la época seca el 8 y 10 de abril y el otro en la época lluviosa el 10 y 16 de julio. En cada punto de muestreo se tomaron y analizaron, muestras de sedimento, macroinvertebrados y agua, sumando un total de 128 muestras (Cuadro No. 2).

Cuadro No. 2 Tipo y número de muestras por muestreo en el lago de Atitlán.

| Tipo de muestra | Cantidad por muestreo | Total de muestras |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Macroinvertebrados bentónicos | 16 | 32 |
| Parámetros fisicoquímicos | 32 | 64 |
| Sedimentos | 16 | 32 |
| Total | | 128 muestras |

Fuente: Trabajo de campo, 2014.

5.4 Procedimiento

5.4.1 Recolecta de macroinvertebrados bentónicos

La recolección de macroinvertebrados bentónicos se realizó con una draga tipo Ekman con un área de 0.0523m^2 (Figura No. 12). Este método de muestreo es el más utilizado en cuerpos de agua lénticos debido a su eficiencia en la recolección de macroinvertebrados bentónicos (Caires y Chandra, 2012). En cada punto de muestreo la draga era sumergida hasta el fondo, con el objetivo de recolectar una muestra de sedimento, para luego ser subida a la embarcación (Figura No.13).



Figura No. 12 Draga tipo Ekman (Trabajo de campo, 2014).



Figura No. 13 Colecta de muestra de sedimento con una draga tipo Ekman (Trabajo de campo, 2014).

De cada muestra recolectada con la draga se tomó una sub muestra de sedimento para realizar posteriormente el análisis granulométrico. Cada submuestra fue almacenada en una bolsa plástica hermética y transportada en una hielera a 4°C, al laboratorio de Calidad de Agua de la AMSCLAE (Figura No. 14).



Figura No. 14 Toma de submuestra de sedimento para análisis granulométrico (Trabajo de campo, 2014).

Posterior a la toma de la submuestra de sedimento, el resto de la muestra fue colocada en un tamiz de 250µm y lavada *in situ*, para eliminar el exceso de sedimento. El sobrante de la muestra fue colocado en una bolsa plástica hermética y preservada con alcohol etílico al 95% (Figura No.15).



Figura No.15 Tamizaje *In situ* de la muestra de sedimento (Trabajo de campo, 2014).

5.4.2 Identificación de macroinvertebrados bentónicos

Las muestras de sedimentos previamente procesadas fueron observadas bajo un estereoscopio, para extraer e identificar los macroinvertebrados bentónicos a distintos niveles taxonómicos y cuantificarlos por taxa (Figura No. 16).



Figura No.16 Identificación y cuantificación de macroinvertebrados bentónicos
(Trabajo de campo, 2014).

La identificación de los macroinvertebrados bentónicos del lago se realizó al máximo nivel taxonómico posible, mediante la ayuda de claves taxonómicas (Merritt *et al.* 2008; Menjívar 2010; Springer *et al.*, 2010; Ramírez, 2010). Posteriormente se almacenaron y preservaron en viales plásticos y de vidrio con alcohol etílico al 70% con su respectiva etiqueta de referencia, la cual contiene la siguiente información: país, departamento, municipio, lugar de colecta, coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar, fecha de colecta y colector.

El material identificado fue depositado en el Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala -MUSHNAT- y una colección de referencia se encuentra en el laboratorio de Calidad de Aguas de la AMSCLAE.

5.4.3 Toma de muestras de agua y medición de parámetros fisicoquímicos

Mediante el GPS de navegación marítima map441s GARMIN el cual presenta un sensor de profundidad, se determinó cada punto de muestreo previo a tomar las muestras de sedimentos y de agua. Posterior a ello, se procedió a tomar las muestras de agua con una botella de Van Dorn (Figura No. 17).



Figura No. 17 Botella de Van Dorn (Trabajo de campo, 2014).

Durante la toma de las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos, se lavó tres veces los recipientes, con el fin de formar una película de la muestra sobre los mismos. Los frascos fueron etiquetados con los siguientes datos: código, fecha, hora de muestreo y los colectores.

Se tomaron muestras de agua en frascos de vidrio color ámbar de 500mL para determinación de la DBO_5 y frascos de vidrio transparentes de 250mL para el análisis de nitratos, ortofosfatos y turbidez. Las muestras de fueron transportadas en hieleras, para mantener una temperatura cercana a los $4^{\circ}C$, hasta llegar al laboratorio de Calidad de Agua de la AMSCLAE, donde se realizaron los análisis correspondientes (Figura No. 18).



Figura No. 18 Toma de muestra de agua para análisis de nutrientes y turbidez (Trabajo de campo, 2014).

De igual forma se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos *in situ* en cada uno de los puntos de muestreo: oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura, sólidos disueltos totales y salinidad mediante el Oxímetro WTW Oxi 330i, un potenciómetro WTW pH 330i y la sonda de conductividad HACH HQ 40d (Figura No. 19).



Figura No.19 Medición de parámetros fisicoquímicos *In situ* (Trabajo de campo, 2014).

La DBO_5 se determinó mediante el método del sistema respirométrico Oxitop®, para el cual se sembraron 432mL de la muestra de agua y se incubaron durante cinco días a una temperatura constante de 20°C (Figura No. 20).



Figura No.20 Determinación de DBO (Trabajo de campo, 2014).

Previo a la determinación de ortofosfatos, 100mL de las muestras fueron filtrados mediante una bomba de vacío con filtros de fibra de vidrio de 47µm. El análisis de ortofosfatos se realizó en base al método del ácido ascórbico 4500-PE del (Clesceri *et al.*, 1992). La turbidez se determinó mediante el fotómetro Spectroquant NOVA 60, con una transmitancia de 550nm en una cubeta de 50mm (Figura No. 21).



Figura No.21 Determinación de la turbidez (Trabajo de campo, 2014).

5.4.4 Determinación de granulometría

Para la determinación de la granulometría de las muestras de sedimento del lago, se pesaron 16 cajas de petri de forma individual, en las cuales posteriormente se colocaron cada una de las sub muestras recolectadas con la draga. Las muestras fueron colocadas dentro de un horno 100°C durante 24 horas para extraer la humedad presente y alcanzar peso constante (Figura No. 22).



Figura No.22 Secado de las muestras de sedimento (Trabajo de campo, 2014).

Adicionalmente, fue necesario pesar en una balanza semi-analítica cada uno de los siete tamices que conforman la columna de tamices para granulometría: No. 5 (4mm), No. 10 (2mm), No. 60 (0.250mm), No. 230 (0.063mm), No. 325 (0.044mm) y No. 400 (0.037mm), los cuales fueron utilizados para la separación de las partículas de sedimento.

Se pesó la totalidad de la muestra en una balanza semi-analítica para conocer el 100% y luego se pasó por la columna de tamices colocados de forma descendente en relación a la luz de malla. La torre de tamices se agito vigorosamente por un minuto para que las partículas de sedimento se separaran de acuerdo a su tamaño (Figura No. 23).



Figura No.23 Pesaje y separación de las partículas de sedimento de acuerdo a su tamaño (Trabajo de campo, 2014).

Finalmente, se pesó cada uno de los tamices con las partículas retenidas durante el proceso de agitación para poder determinar el porcentaje de arena, limo y arcilla presentes en las muestras y clasificar las muestras según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS, 2013) (Cuadro No. 3).

Cuadro No. 3 Clasificación de suelos según la USCS

| Tipo de suelo | Tamaño de partícula |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Grava | >4.75mm |
| Arena gruesa | 2mm – 4.75mm |
| Arena medianamente gruesa | 0.425mm – 2mm |
| Arena fina | 0.075mm – 0.425mm |
| Limo grueso y medianamente grueso | 0.020mm - 0.075mm |
| Limo fino | 0.006mm – 0.020mm |
| Arcilla | <0.002mm |

Fuente: Trabajo de campo, 2014.

5.5 Análisis de datos

Para determinar la significancia de las abundancias por taxa entre sitios y profundidades se realizó un test de Kruskal-Wallis, el cual es un método de estadística no paramétrica que se utiliza cuando se presenta una variable nominal y una dependiente (McDonald, 2014). Para establecer la significancia entre la riqueza y la abundancia por época del año (seca y lluviosa), se utilizó el test de Mann-Whitney (McDonald, 2014).

Se utilizó un análisis de la varianza (ANDEVA) de dos vías o factores, para comprobar la significancia entre sitios y profundidades de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en general. Dicho análisis es una técnica de estadística paramétrica que se utiliza cuando varios grupos o muestras se asignan a diferentes combinaciones de dos factores. Este trata de comparar grupos o muestras que difieren sistemáticamente en dos factores (Martín Tamayo, 2014).

Con el objetivo de tener una visión general sobre la variabilidad ambiental en el área de estudio, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), para evidenciar la distribución de los sitios de muestreo, tomando en cuenta solamente las características fisicoquímicas y de granulometría.

Así mismo, para determinar la posible influencia de las variables ambientales sobre la composición y distribución de las comunidades de macroinvertebrados, se realizó un análisis de correspondencia canónico (CCA por sus siglas en inglés), mediante el programa PcOrd 5.0. El CCA es una técnica de gradiente directo que proporciona una ordenación de estaciones relacionada directamente con los valores de los factores ambientales. Para el análisis se utilizaron las abundancias de cada taxón por muestra, excluyendo los taxa raros (frecuencia <4%) (Reyes, 2013). La significancia de la relación entre la ordenación de las especies y las variables ambientales, así como de los ejes, fueron evaluados con un test de permutaciones aleatorias de Monte Carlo (McCune y Grace, 2002). Para el análisis se incluyeron 32 muestras, 18 taxa y 13 variables ambientales.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral

6.1.1 Riqueza y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos

En el lago de Atitlán se clasificaron 18 taxa correspondientes a 15 familias, 12 órdenes y 9 clases (Cuadro No. 4 y Anexo No. 3). Se recolectaron 5229 individuos de macroinvertebrados bentónicos, 1737 durante la época seca (abril) y 3492 en la época lluviosa (julio) (Figura No. 24).

Cuadro No. 4 Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de estudio del lago de Atitlán

| Clase | Orden | Familias | Géneros | Individuos |
|--------------|-------|----------|---------|------------|
| Bivalvia | 1 | 1 | 1 | 81 |
| Clitellata | 1 | - | - | 1973 |
| Gastropoda | 2 | 3 | - | 2435 |
| Hirudinea | 1 | - | - | 184 |
| Insecta | 3 | 5 | 3 | 83 |
| Malacostraca | 1 | 1 | 1 | 389 |
| Maxillopoda | 1 | - | - | 2 |
| Ostracoda | 1 | - | - | 24 |
| Turbellaria | 1 | 1 | - | 58 |

Fuente: Trabajo de campo, 2014.

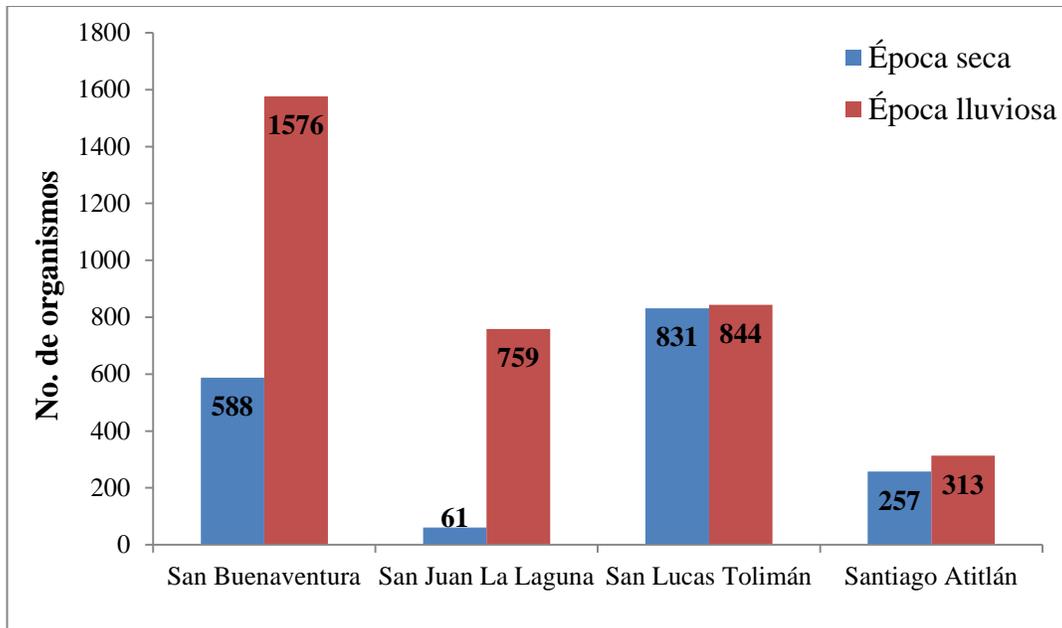


Figura No. 24. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por sitio de muestreo en época seca y lluviosa (Trabajo de campo, 2014)

El aumento de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos en la época lluviosa, puede deberse al incremento del ingreso de materia orgánica y nutrientes en el lago, debido a la precipitación (Chandra *et al.* 2013). Los organismos que elevaron sus densidades en comparación con la época seca fueron los clitelatos (lombrices), estos son organismos característicos de lugares con altas concentraciones de materia orgánica, ya que son detritívoros de los sedimentos del fondo (Roldán y Ramírez, 2008).

A pesar del aumento observado en relación a los macroinvertebrados, principalmente de la clase Clitellata, mediante una prueba de Mann-Whitney se evidenció que no existe diferencias significativas en relación a la riqueza ($U=4.5$, $N=4$, $p>0.05$) y la abundancia ($U=3$, $N=4$, $p>0.05$) por estaciones del año (seca y lluviosa). Este aumento puede atribuirse a la distribución agregada que presentan las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Roldán y Ramírez, 2008).

En la época seca se registraron 13 taxa y en la lluviosa 14 taxa. Los sitios que presentaron mayor riqueza en la época seca fueron Santiago Atitlán y San Buenaventura con un total de 11 taxa cada uno, mientras que en la época lluviosa fue San Juan La Laguna con 10 taxa. En la época lluviosa, la riqueza por sitio disminuyó.

En relación a los puntos de muestreo sin hacer distinción en la época del año, Santiago Atitlán y San Juan La Laguna a 1m fueron los que presentaron la mayor riqueza de macroinvertebrados bentónicos con 10 y 9 taxa respectivamente. Los siguientes puntos de muestreo fueron San Buenaventura a 1m, San Juan La Laguna a 15m y Santiago Atitlán a 50m con 7 taxa cada uno. El punto con menor riqueza fue Santiago Atitlán a 15m con 3 taxa (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5 Riqueza de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de estudio del lago de Atitlán

| Sitio | 1m | 15m | 25m | 50m |
|--------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Santiago Atitlán | 10 | 3 | 4 | 7 |
| San Lucas Tolimán | 6 | 6 | 4 | 5 |
| San Juan La Laguna | 9 | 7 | 4 | 6 |
| San Buenaventura | 7 | 5 | 6 | 6 |

Fuente: Trabajo de campo, 2014.

La baja riqueza reportada en el punto correspondiente a Santiago Atitlán a 15m pudo deberse al exceso de materia orgánica en descomposición que se encontró en el sitio, principalmente en época lluviosa (julio). En el punto de muestreo se colectó únicamente material vegetal (algas muertas), esto limita el sustrato disponible para ser colonizado por las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Lewis, 1996).

Es importante resaltar que el presente estudio es una línea base de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán; y un primer listado taxonómico para dicho cuerpo de agua. Se debe tomar en cuenta que el esfuerzo y el método de muestreo, así como la omisión de la zona profunda y de otros sitios de muestreo,

pueden tener efectos significativos en la riqueza total del lago. El método de recolecta (draga de Ekman), excluye ciertos organismos que habitan en otros sustratos o microhábitats. Al incluir la fauna que habita la columna de agua y la asociada a la vegetación acuática (emergente, flotante y arraigada) de la zona litoral incrementaría considerablemente la riqueza taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos del lago de Atitlán (Trama *et al.*, 2009).

A pesar de que únicamente se estudiaron los macroinvertebrados que habitan en el sedimento de la zona litoral y sublitoral, el número de taxa encontrados (18) sugiere una alta riqueza, en comparación con otros cuerpos de agua lénticos en regiones tropicales como Costa Rica, en donde la diversidad en la zona bentónica es de 13 y 15 taxa (Cordero y Villalobos, 2008; Umaña y Jiménez, 1995). En comparación con otros cuerpos de agua lénticos endorréicos de la región, como el lago de Petén Itzá y la laguna de Quexil, ubicados en el departamento de Petén, Guatemala, donde se reportaron 27 y 28 taxa respectivamente (Reyes, 2013), el lago de Atitlán presenta una riqueza menor.

Es importante resaltar que para todos los casos anteriormente mencionados, la riqueza se encuentra por encima del límite inferior (13 taxa) reportada para lagos tropicales, la cual se atribuye a la inestabilidad de los sedimentos y el rápido consumo de oxígeno que se da en la región bentónica, limitando el número de especies (Lewis, 1996). Por lo tanto se podría considerar que el lago de Atitlán presenta las condiciones adecuadas en relación a la estabilidad del sustrato y los niveles de oxígeno para el desarrollo de un gran número de taxa, siendo 18 los reportados en el presente estudio.

Las clases con mayor abundancia y que estuvieron presentes en todos los sitios fueron Gastropoda (46.57%) y Clitellata (37.73%). En menor abundancia se encontraron Malacostraca (7.44%) e Hirudínea (3.52%), el resto se encontró por debajo del 2%. Los tres taxa dominantes fueron la morfo-especie 1 de la familia Thiaridae con 2391 individuos, seguido del orden Haplotaxida (Clitellata) e *Hyaella sp.* (Hyaellidae: Amphipoda) con 1973 y 389 organismos respectivamente. Los taxa que presentaron menor abundancia fueron Physidae (Gastropoda), *Helicopsyche sp.* (Helicopsychidae: Trichoptera), *Nehalennia sp.*

(Coenagrionidae: Odonata) y *Oxyethira sp.* (Hydroptilidae: Trichoptera) con un organismo cada uno (Cuadro No. 6). Los primeros tres únicamente se presentaron durante la recolecta correspondiente a la época seca (abril) mientras que *Oxyethira sp.*, en época lluviosa (julio), a pesar de ser uno de los géneros de Trichoptera más comunes en ambientes lénticos (Springer, 2010).

Dentro de la familia Chironomidae (Diptera), la tribu Chironomini de la subfamilia Chironominae fue la más abundante con 68 organismos, mientras que de la tribu Tanytarsini y la subfamilia Orthocladinae se encontraron dos y ocho individuos respectivamente. Se han reportado que en algunos lagos tropicales de Costa Rica, las bajas densidades de quironómidos pueden atribuirse a la presencia de depredadores como los peces de la familia Characidae. Otra de las causas por las cuales se reportan bajas densidades de quironómidos es el desarrollo larval continuo (Cordero y Villalobos, 2008) y la movilización de las larvas hacia aguas someras (Jiménez y Springer, 1996), es decir, las larvas con mayor tamaño se encontraron en las estaciones con menor profundidad. Esto coincide con lo observado en el lago de Atitlán, donde los quironómidos que exhibieron un mayor grado desarrollo fueron los recolectados a 1m de profundidad.

Cuadro No. 6 Listado taxonómico y abundancia de macroinvertebrados bentónicos por sitio y profundidad de muestreo

| Taxa | San Buenaventura | | | | San Juan La Laguna | | | | San Lucas Tolimán | | | | Santiago Atitlán | | | | Total |
|---------------------|------------------|-----|-----|------|--------------------|-----|-----|-----|-------------------|------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-------------|
| | 1m | 15m | 25m | 50m | 1m | 15m | 25m | 50m | 1m | 15m | 25m | 50m | 1m | 15m | 25m | 50m | |
| BIVALVIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Veneroida | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pisidiidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pisidium sp.</i> | 1 | 1 | | 75 | | | | | | | | 1 | | | | 3 | 81 |
| CLITELLATA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Haplotaxida | 61 | 7 | 48 | 1391 | 4 | 12 | 40 | 35 | 30 | 7 | 12 | 59 | 243 | 3 | 15 | 6 | 1973 |
| HIRUDINEA | 4 | | | 150 | | 1 | 3 | 8 | | 2 | | | 15 | | | 1 | 184 |
| GASTROPODA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Basommatophora | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Physidae | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| Neotaenioglossa | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Thiaridae sp 1 | 153 | 43 | 39 | 90 | 39 | 70 | 85 | 491 | 73 | 1009 | 153 | 87 | 43 | | 15 | 1 | 2391 |
| Thiaridae sp 2 | | | | | | | | | 38 | 2 | 1 | | | | | | 41 |
| Hydrobiidae | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | 2 |
| MALACOSTRACA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amphipoda | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hyaellidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Hyaella sp.</i> | 52 | 1 | | | 1 | | 1 | 3 | 145 | 4 | 2 | 23 | 28 | 9 | 25 | 95 | 389 |
| MAXILLOPODA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Copepoda | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | 2 |
| OSTRACODA | | 1 | | | | 1 | 1 | 6 | | 6 | | | 1 | 1 | | 7 | 24 |
| TURBELLARIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tricladida | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dugesiidae | 16 | | | | | 1 | | | 7 | | | | 34 | | | | 58 |

| Taxa | San Buenaventura | | | | San Juan La Laguna | | | | San Lucas Tolimán | | | | Santiago Atitlán | | | | Total |
|-------------------------|------------------|-----------|------------|-------------|--------------------|-----------|------------|------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------------|-----------|-----------|------------|-------|
| | 1m | 15m | 25m | 50m | 1m | 15m | 25m | 50m | 1m | 15m | 25m | 50m | 1m | 15m | 25m | 50m | |
| INSECTA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diptera | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Psychodidae | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| Chironomidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chironominae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chironomini | 2 | 5 | 15 | 2 | 5 | | 3 | 6 | 9 | | | 5 | 3 | | 9 | 4 | 68 |
| Tanytarsini | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | 2 |
| Orthocladinae | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 6 | | | | 8 |
| Trichoptera | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Helicopsychidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Helicopsiche sp.</i> | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| Hydroptilidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oxyethira sp.</i> | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 |
| Odonata | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coenagrionidae | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Nehalennia sp.</i> | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| Total | 292 | 59 | 103 | 1710 | 53 | 85 | 133 | 549 | 302 | 1030 | 168 | 175 | 376 | 13 | 64 | 117 | |

Fuente: Trabajo de campo, 2014.

Los resultados evidencian las diferencias entre diversos cuerpos de agua lénticos en regiones tropicales incluyendo el lago de Atitlán, 8 lagunas de Petén y el lago Cote en Costa Rica (Cordero y Villalobos, 2008; Reyes, 2013), en los cuales las comunidades de macroinvertebrados bentónicos están dominadas por caracoles y lombrices, siendo organismos que se caracterizan por encontrarse en sitios con altas concentraciones de materia orgánica (Sermeño Chicas *et al.*, 2010). La dominancia de estos organismos puede deberse al detrimento de la calidad del agua y al aumento de la materia orgánica que ingresa al lago, siendo resultado del proceso de eutrofización que sufre actualmente el lago de Atitlán (Chandra *et al.*, 2013).

La alta abundancia de macroinvertebrados bentónicos en el lago de Atitlán en relación con otros cuerpos de agua lénticos de Guatemala como el lago Petén Itza y la laguna Quexil, puede deberse a distintos factores ambientales típicos de la región y a las características particulares de cada cuerpo de agua (*e.g.* disponibilidad de alimento, el oleaje, el tipo y disponibilidad de sustrato, el estado trófico, entre otros) (Hanson *et al.*, 2010).

Respecto a las densidades de macroinvertebrados bentónicos durante la época seca, se observó una dominancia por parte de la morfo-especie 1 de la familia Thiaridae en sitios como San Lucas Tolimán a 15m donde alcanzó 9961 organismos/m². El resto de taxa varió según el sitio de muestreo y profundidad (Figura No. 25).

Durante la época lluviosa se evidenció un cambio de las densidades de la mayoría de los taxa. El taxa dominante fue Clitellata a 50m en la bahía de San Buenaventura con 22 676 organismos/m² evidenciando una distribución agregada (Figura No. 26).

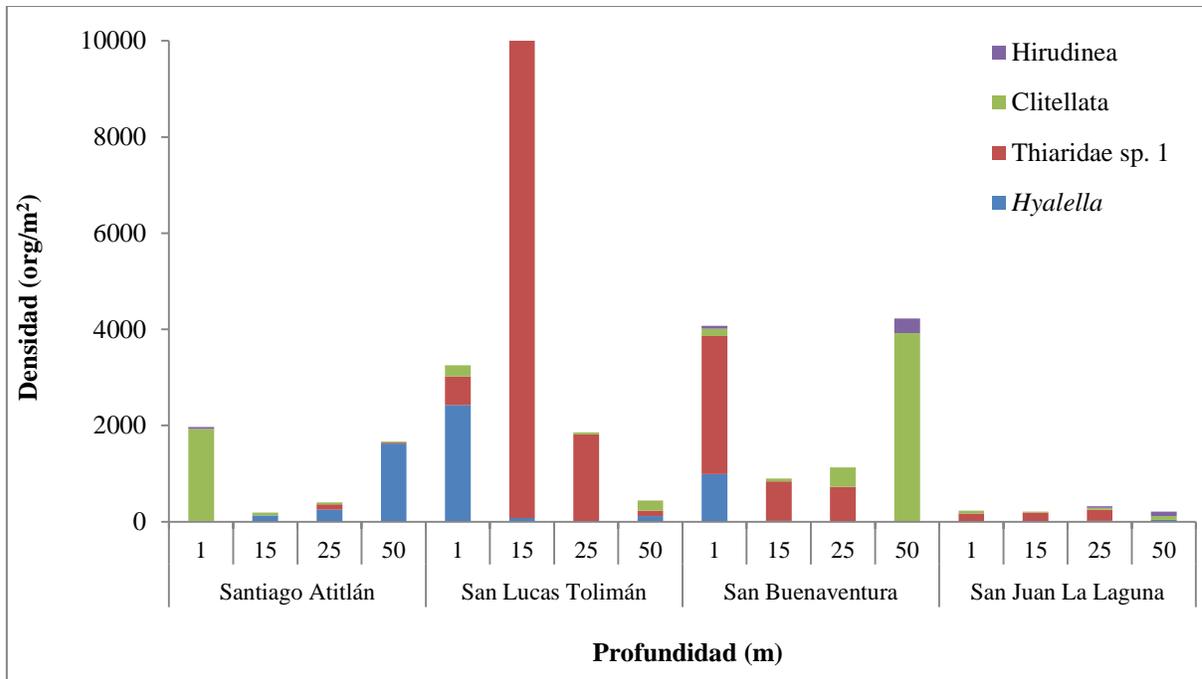


Figura No. 25 Densidades de los cuatro grupos principales de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo durante la época seca (abril) (Trabajo de campo, 2014).

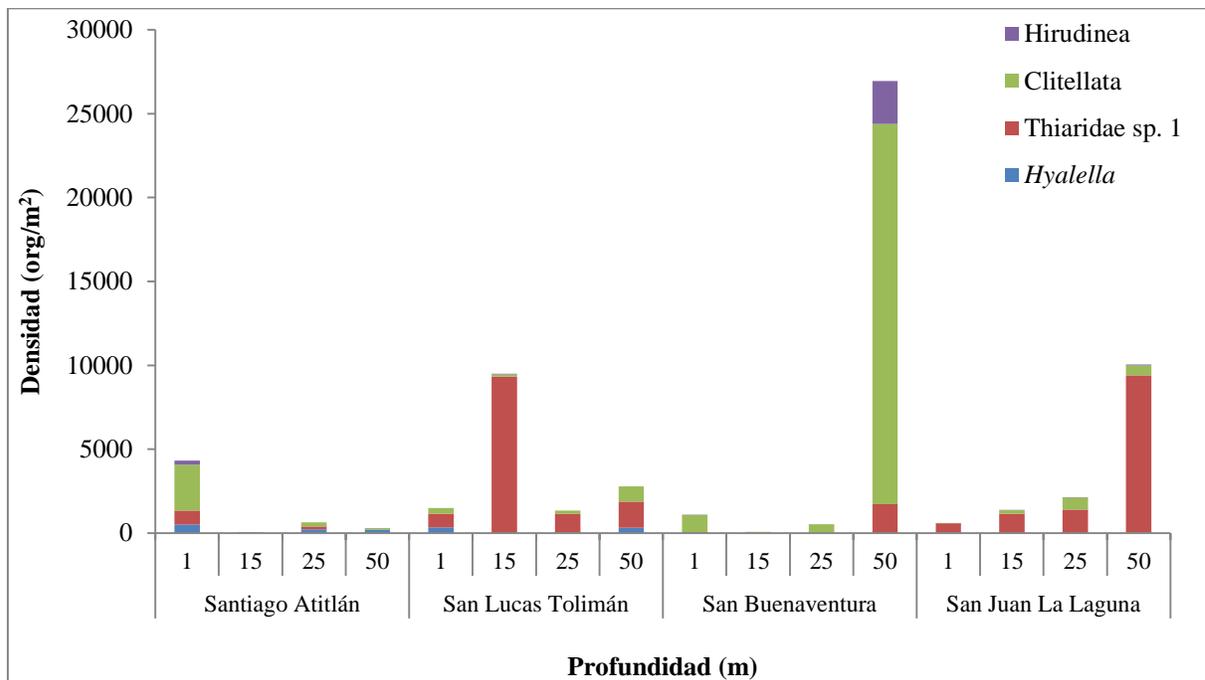


Figura No. 26 Densidades de los cuatro grupos principales de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo durante época lluviosa (julio) (Trabajo de campo, 2014).

Mediante una prueba de Kruskal-Wallis se evidenció que no existen diferencias significativas en cuanto a la abundancia por taxa entre los sitios de muestreo ($H= 1.526$, $p>0.05$), ni entre las profundidades (San Buenaventura ($H= 1.961$, $p>0.05$), San Juan La Laguna ($H= 0.36$, $p>0.05$) y San Lucas Tolimán ($H= 0.596$, $p>0.05$)). En el caso de Santiago Atitlán, se encontró que la abundancia de los taxa en el punto ubicado a 15m difiere significativamente ($H=0.2$, $p=0.03$) de los otros puntos (1, 25 y 50m). Esto pudo deberse a que en dicho punto el sustrato era una densa capa de algas muertas en proceso de descomposición, lo cual se considera que es un sustrato poco adecuado para el desarrollo de las comunidades de macroinvertebrados (Lewis, 1996)

Con el ANDEVA de dos vías, se determinó que no existe una diferencia significativa en relación a la riqueza de taxa ($F_{3,16}=0.1828$, $p>0.05$) y la abundancia de organismos ($F_{3,16}=2.84$, $p>0.05$) entre los sitios de muestreo ni entre las distintas profundidades.

El número de especies de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos tiende a decrecer a medida que aumenta la profundidad, principalmente en lagos eutróficos estratificados, aún en cortos períodos de tiempo, debido a la disminución del oxígeno disuelto en el agua (Cowell y Darrel, 1980). Sin embargo, esto no se puede considerar ya que las concentraciones de oxígeno a 50m fueron de 37.9% de saturación. Una de las posibles razones de la falta de significancia en los resultados puede deberse al número de muestras recolectadas o bien al esfuerzo, ya que solo se realizaron dos muestreos (abril y julio) en cuatro sitios, los cuales pudieron ser insuficientes para poder brindar un panorama completo de la dinámica poblacional de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos.

6.2 Parámetros fisicoquímicos del agua

6.2.1 Oxígeno disuelto

En relación al oxígeno disuelto a 1, 15, 25 y 50m en los cuatro sitios de muestreo, se evidenció una disminución gradual en la concentración del mismo a medida que aumentaba la profundidad, obteniendo los máximos porcentajes de saturación a 1m de profundidad entre 102 – 117% y las menores concentraciones a 50m entre 37 – 105% (Figura No. 27).

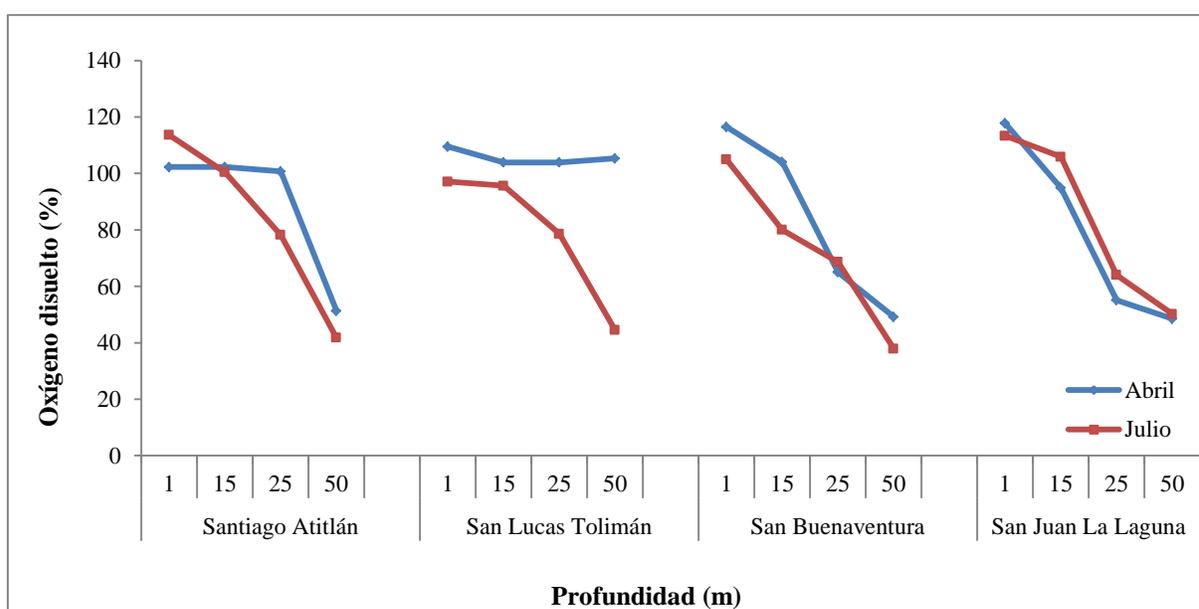


Figura No. 27 Perfiles del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

Los valores altos de oxígeno disuelto a 1m de profundidad puede deberse a que hay un intercambio de oxígeno desde la atmósfera (Roldán y Ramírez, 2008) y al oleaje en la zona litoral, permitiendo condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Lewis, 1996).

En San Lucas Tolimán durante el muestreo de abril, se evidenció un comportamiento distinto en comparación con los otros sitios de muestreo, ya que en todas las profundidades se presentó una saturación de oxígeno superior al 100%, aumentando ligeramente en 50m a 105.3%. El

punto correspondiente a San Buenaventura a 50m presentó las menores saturaciones de oxígeno con 49.2% (abril) y 37.9% (julio), al igual que Santiago Atitlán a 50m en época lluviosa con 41.8%. De manera general, las menores concentraciones de oxígeno disuelto a 50m de profundidad se presentaron durante la época lluviosa (julio).

No se evidenciaron condiciones anóxicas en ninguno de los puntos de muestreo, posiblemente a que en lagos de baja productividad como el lago de Atitlán, la mayoría de la materia orgánica se descompone antes de llegar al fondo, por lo que no se requiere un gasto de oxígeno del hipolimnion (Roldán y Ramírez, 2008). El oxígeno disponible en la zona béntica (37.9 - 51.3%) proviene del oxígeno remanente del período de circulación (Roldán y Ramírez, 2008).

6.2.2 Temperatura

Con la temperatura del agua se observó una leve disminución de la misma a medida que aumentaba la profundidad. Los valores variaron entre 20.3 - 25.3°C, con una diferencia máxima de temperatura de 5°C en un espacio de 50m, el cual es un comportamiento normal (Roldán y Ramírez, 2008), en un lago estratificado como Atitlán en donde el epilimnio se encuentra aproximadamente a los 20m (Chandra *et al.*, 2013). Los puntos que reportaron la mayor temperatura en los cuatro sitios de muestreo fueron los que se ubicaron a 1m de profundidad (Figura No. 28).

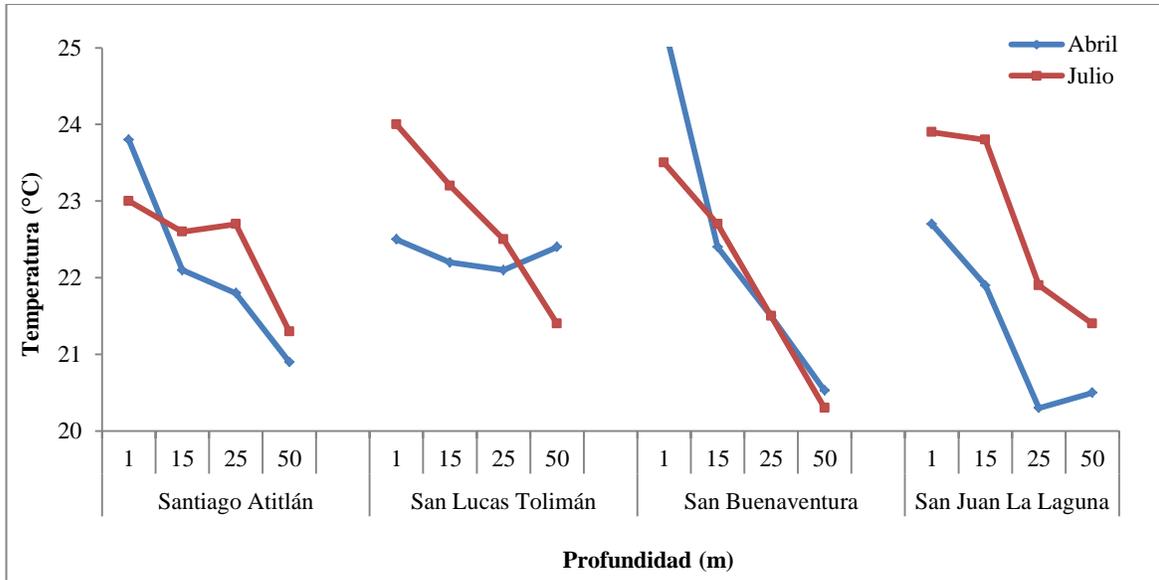


Figura No. 28 Perfiles de la temperatura en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

6.2.3 Potencial de hidrógeno

El pH se mantuvo entre 7.25 – 8.75 unidades, siendo ligeramente alcalino en las profundidades correspondientes a 1m y cercano a neutro a 50m, a excepción de Santiago Atitlán durante el muestreo de abril donde a un metro presento valores de pH de 7.25 (Figura No. 29).

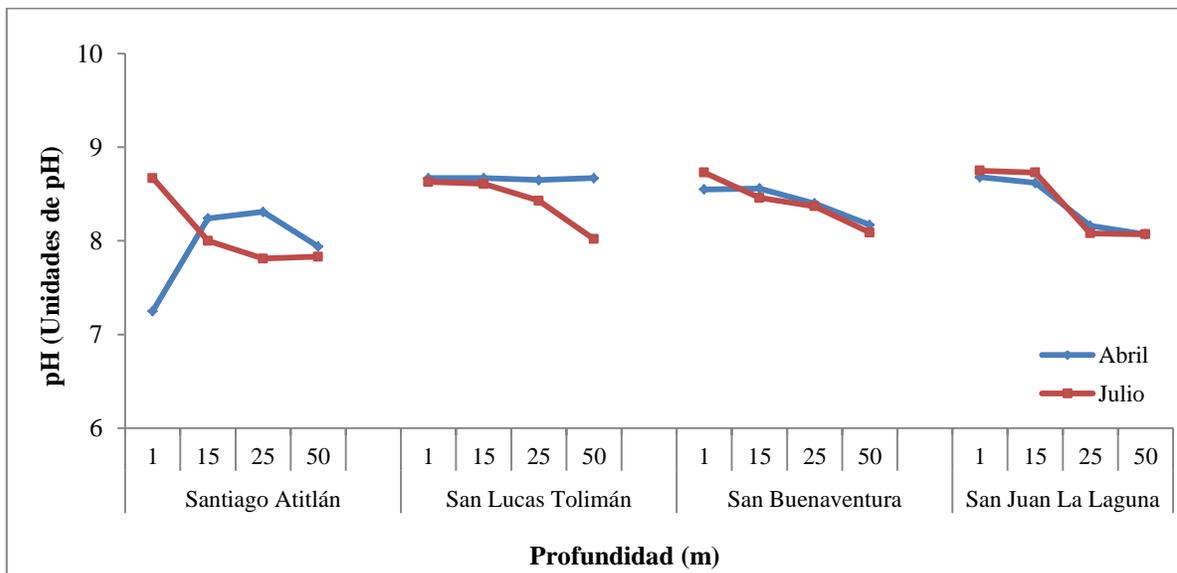


Figura No. 29 Perfiles de pH en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

El pH se mantuvo entre los valores promedio que presentan la mayoría de cuerpos de agua lénticos (6 – 9). Las leves oscilaciones de pH en relación a la profundidad, observadas en todos los sitios de muestreo, responden a un comportamiento típico de lagos tropicales de regiones altas (Roldán y Ramírez, 2008).

6.2.4 Conductividad

Los valores de la conductividad específica se mantuvieron entre 445 - 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ambos valores corresponden a San Buenaventura a 15m y Santiago Atitlán a 1m respectivamente, durante el muestreo en abril. Los valores oscilaron entre las profundidades, no observándose un comportamiento específico, siendo San Lucas Tolimán el sitio que presento mayor homogeneidad en relación a dicho parámetro. De manera general en julio, la conductividad aumento ligeramente a medida que aumentaba la profundidad (Figura No. 30).

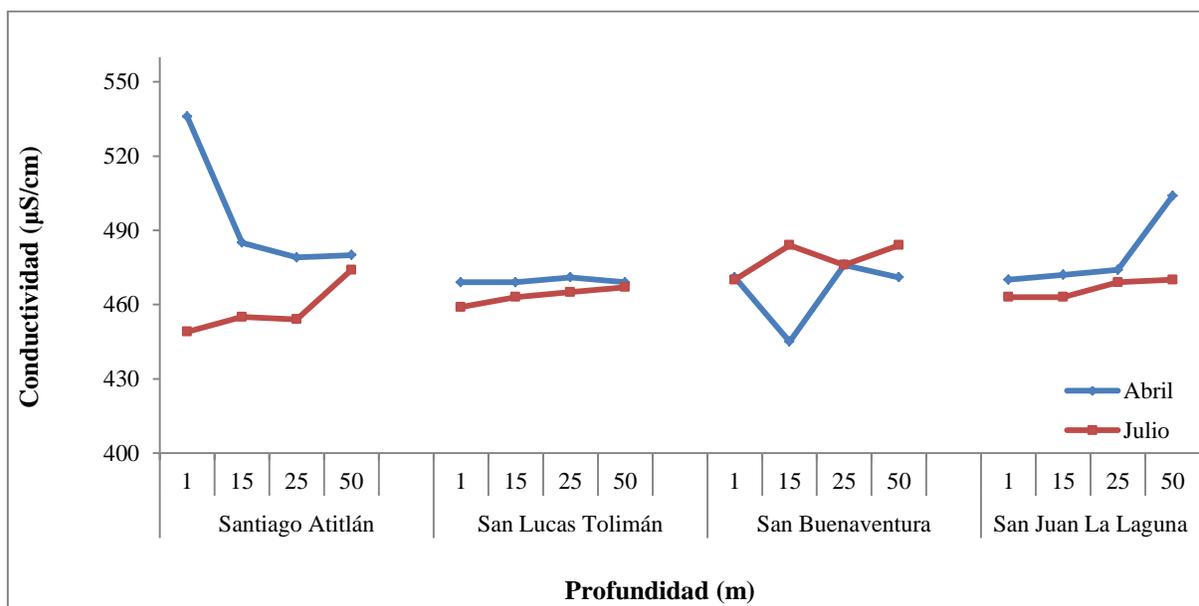


Figura No. 30 Perfiles de conductividad en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

Los valores habituales de conductividad en cuerpos de agua fuertemente mineralizados son desde 500 hasta 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roldán y Ramírez, 2008), evidenciando que el lago de Atitlán es un cuerpo de agua con altos contenidos de iones disueltos.

6.2.5 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales oscilaron entre 115 – 300mg/L durante los dos muestreos. En abril se observó un incremento de los mismos a medida que aumentaba la profundidad en San Lucas Tolimán, San Juan La Laguna y San Buenaventura siendo este último el punto en el cual se presentó el valor más alto de sólidos disueltos totales (300mg/L), mientras que en Santiago Atitlán fue a 1m donde se registraron las mayores concentraciones. En julio, las concentraciones de sólidos disueltos totales se mantuvieron sin cambios importantes a medida que aumentaba la profundidad, excepto el punto correspondiente a 25m en San Lucas Tolimán, donde se presentó una disminución de los mismos con 115mg/L (Figura No. 31).

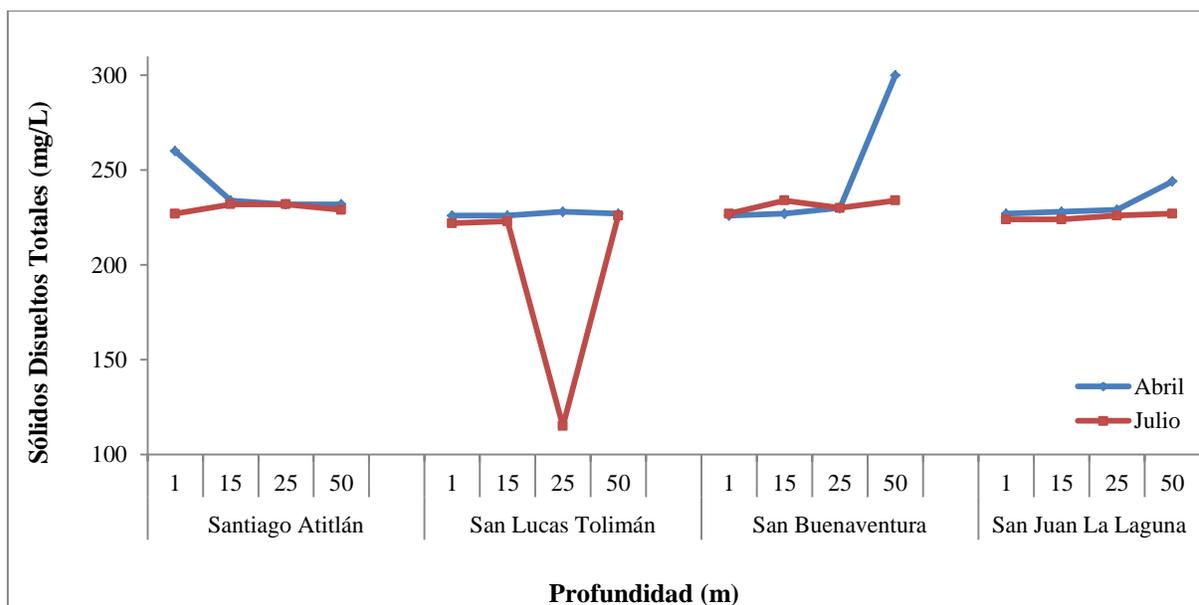


Figura No. 31 Perfiles de sólidos disueltos totales en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

Los niveles de sólidos disueltos totales de todos los puntos de muestreo a excepción de San Lucas Tolimán a 25m son superiores a los rangos reportados para la mayoría de lagos y ríos neotropicales (10-200mg/L) (Roldán y Ramírez, 2008), evidenciando las altas concentraciones de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas disueltas.

6.2.6 Demanda bioquímica de oxígeno

Los valores de DBO_5 oscilaron entre 0 y 12mg/L. La concentración más elevada de DBO_5 se registró en Santiago Atitlán a 1m durante el mes de abril (12.6mg/L). Los demás puntos oscilaron entre 0 - 4.2mg/L. De manera general los valores de este parámetro fueron más elevados en la época lluviosa (julio) (Figura No. 32).

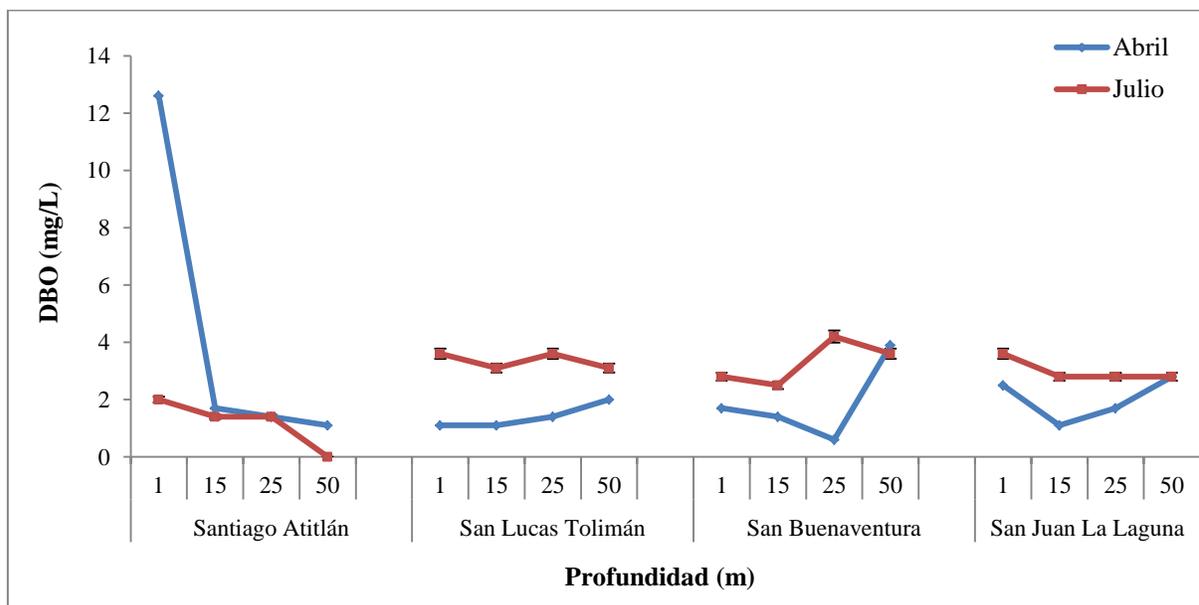


Figura No. 32 Perfiles de la demanda bioquímica de oxígeno en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

El aumento de la demanda bioquímica de oxígeno en la época lluviosa (julio), sugiere un incremento en las concentraciones de materia orgánica que ingresaron al lago, ya que su oxidación es uno de los principales factores que consumen oxígeno libre a causa de la respiración de microorganismos descomponedores como las bacterias heterotróficas aerobias (Roldán y Ramírez, 2008). La DBO_5 de 12.6mg/L en Santiago Atitlán a 1m, puede deberse al impacto causado por las actividades antropogénicas como el lavado de ropa en las orillas del lago por parte de las mujeres de la comunidad, lo cual puede incrementar los niveles de materia orgánica y nutrientes que ingresan al lago en ese punto.

6.2.7 Turbidez

Los valores de turbidez oscilaron entre 0 y 12 UNT. Al igual la DBO en el muestreo de abril en Santiago Atitlán a 1m se registró la lectura de turbidez más elevada con 13UNT. Durante la época seca se evidenció que el sitio con las lecturas de turbidez más bajas fue San Lucas Tolimán, en comparación con San Juan La Laguna cuyas lecturas fueron las más elevadas, mostrándose incrementos perceptibles a 1 y 50m de profundidad. Mientras que en San Buenaventura fue a 25m donde se observó un aumento de la misma. En el muestreo de la época lluviosa, las lecturas de turbidez aumentaron en todos los sitios de muestreo, siendo en San Buenaventura a 50m y en San Juan La Laguna a 1m los puntos donde se presentaron las lecturas más elevadas (Figura No. 33).

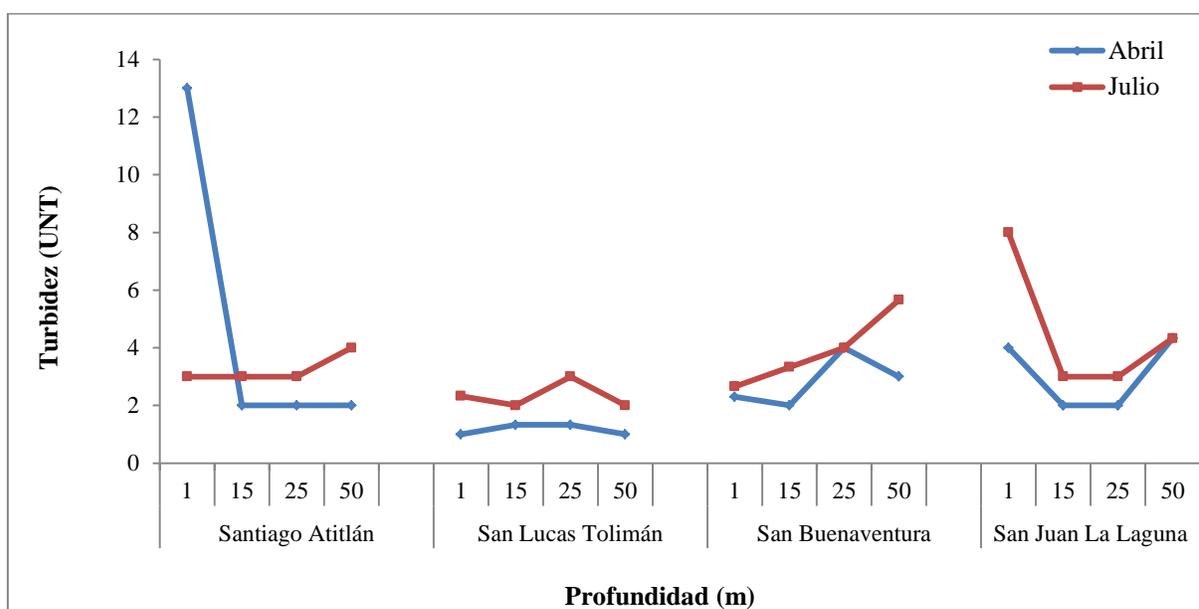


Figura No. 33 Perfiles de turbidez en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

El valor atípico de turbidez registrado en Santiago Atitlán a 1m durante la época seca (abril), puede deberse al impacto de las actividades antropogénicas como la construcción y el lavado de ropa, que incorporan al ecosistema partículas de roca, arcilla y fango, así como jabones y desengrasantes y aumentan los niveles de turbidez en el agua (Roldán y Ramírez, 2008).

6.2.8 Ortofosfatos

Las concentraciones de ortofosfatos se mantuvieron entre los 0 – 54.56 $\mu\text{g/L}$, siendo San Juan La Laguna a 15m el punto que presentó los mayores registros durante el mes de abril. No se pudo observar ningún patrón en el comportamiento de los ortofosfatos durante los dos muestreos, ya que cada sitio presentó aumentos y disminuciones a profundidades distintas. Durante el mes de abril, los puntos que presentaron mayores concentraciones en Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán son los correspondientes a 1m de profundidad con 26.76 y 25.26 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, mientras que en San Buenaventura fue a 50m con 25.7 $\mu\text{g/L}$. De manera general, durante el mes de julio las concentraciones de ortofosfatos disminuyeron, siendo San Buenaventura a 1m con 24.86 $\mu\text{g/L}$ el punto con la mayor concentración (Figura No. 34).

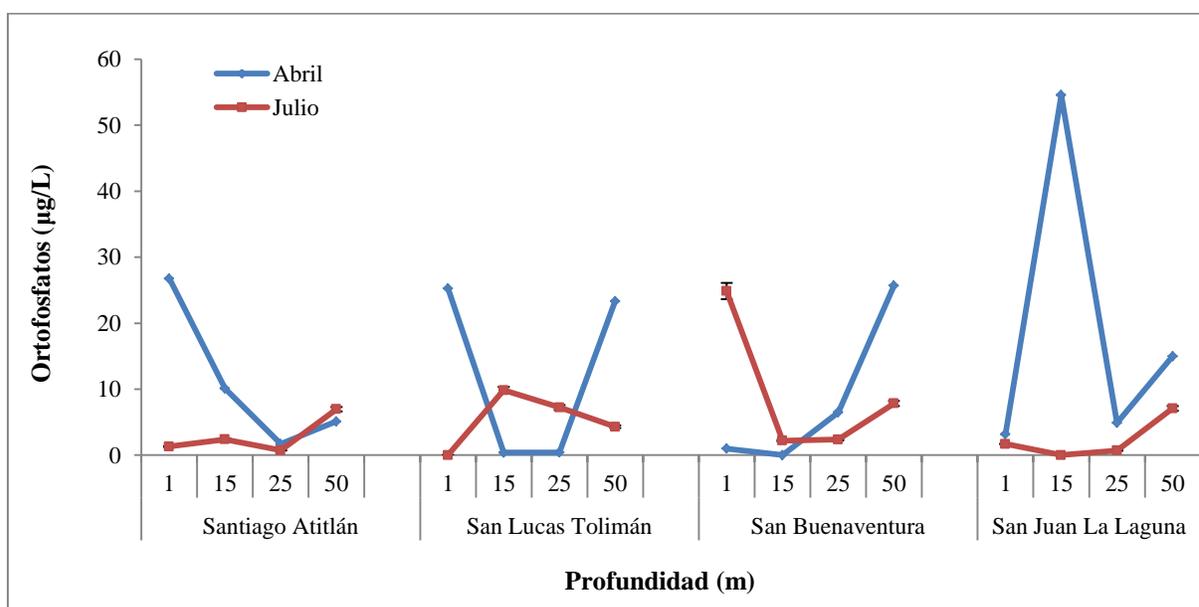


Figura No. 34 Perfiles de concentraciones de ortofosfatos en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

En comparación con valores reportados en investigaciones pasadas, las concentraciones de PO_4 en el centro del lago a nivel superficial (3.4 y 21.7 $\mu\text{g/L}$) y a 20m de profundidad (40 $\mu\text{g/L}$) (Dix *et al.*, 2012; Chandra *et al.*, 2013), se evidenció que durante la época seca (abril), Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán a 1m presentaron concentraciones mayores de las

anteriormente reportadas, debido principalmente a la influencia humana del punto de muestreo.

Por otro lado, en todos los sitios de muestreo a 15 y 25m de profundidad se determinaron concentraciones menores de PO_4 a las reportadas en el 2012 (Dix *et al.*, 2012), a excepción de San Juan La Laguna en donde a 15m se evidenció la mayor concentración de ortofosfatos en la época seca (abril) con $54.56\mu g/L$.

6.2.9 Salinidad

La salinidad no evidenció grandes cambios ni temporales ni espaciales. Manteniéndose entre $0.22 - 0.23g/L$ (Figura No. 35).

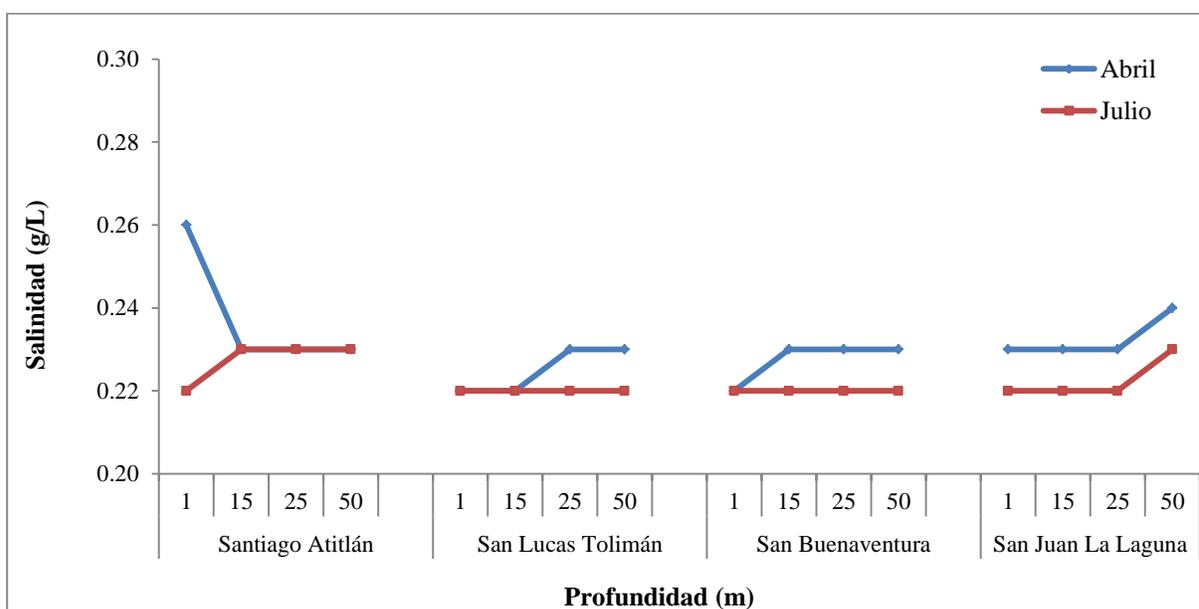


Figura No. 35 Perfiles de salinidad en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

En los cuerpos de agua continentales, la salinidad se encuentra en concentraciones muy bajas a excepción de algunos cuerpos de agua con influencia marina. Dicho parámetro se mantiene relativamente constante, debido a que la influencia por la actividad de los componentes biológicos es muy limitada (Roldán y Ramírez, 2008), aunque es importante mencionar que

las actividades antropogénicas pueden alterar la salinidad del agua como se observó en Santiago Atitlán a 1m, debido a la incorporación de sustancias.

6.3 Granulometría del sedimento

Algunos grupos de macroinvertebrados bentónicos presentan preferencias por determinados tipos de sustrato (rocas, arena, limo y arcilla), lo cual puede afectar la ocurrencia de especies originando patrones de distribución (Minshall, 1984). De manera general el sustrato más abundante en la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán para ambos muestreos fue limo, seguido de arena fina. Mientras que el limo fino y la arcilla se encontraron en proporciones menores a 8.02% (Cuadro No. 7).

Durante el muestreo de la época lluviosa, no se pudo determinar la composición granulométrica del punto correspondiente a Santiago Atitlán a 15m, ya que una densa capa de algas muertas cubría el sustrato.

Cuadro No. 7 Porcentajes de arena, limo y arcilla de las muestras de sedimento

| Muestreo | Sitio | Profundidad (m) | % Arena gruesa | % Arena fina | % Limo | % Limo fijo y arcilla |
|----------|--------------------|-----------------|----------------|--------------|--------|-----------------------|
| Abril | Santiago Atitlán | 1 | 42.49 | 40.88 | 16.42 | 0.20 |
| | | 15 | 0.65 | 0.43 | 97.63 | 1.29 |
| | | 25 | 2.25 | 15.00 | 78.25 | 4.50 |
| | | 50 | 8.89 | 20.56 | 70.38 | 0.17 |
| | San Lucas Tolimán | 1 | 37.11 | 17.89 | 43.68 | 1.32 |
| | | 15 | 4.46 | 19.71 | 73.09 | 2.73 |
| | | 25 | 25.39 | 28.01 | 42.18 | 4.42 |
| | | 50 | 29.59 | 23.72 | 45.66 | 1.02 |
| | San Buenaventura | 1 | 65.27 | 19.04 | 15.54 | 0.15 |
| | | 15 | 0.00 | 1.79 | 92.28 | 5.93 |
| | | 25 | 6.65 | 9.15 | 82.02 | 2.18 |
| | | 50 | 0.00 | 13.37 | 85.98 | 0.65 |
| | San Juan La Laguna | 1 | 18.13 | 24.85 | 56.74 | 0.28 |
| | | 15 | 1.24 | 17.42 | 80.30 | 1.03 |
| | | 25 | 1.96 | 30.64 | 66.87 | 0.53 |
| | | 50 | 5.49 | 26.90 | 66.46 | 1.16 |
| Julio | Santiago Atitlán | 1 | 30.055 | 39.891 | 29.508 | 0.546 |
| | | 15 | - | - | - | - |
| | | 25 | 9.538 | 32.308 | 57.231 | 0.923 |
| | | 50 | 30.460 | 46.935 | 22.605 | 0.000 |
| | San Lucas Tolimán | 1 | 6.143 | 55.285 | 37.576 | 0.996 |
| | | 15 | 10.510 | 25.502 | 63.833 | 0.155 |
| | | 25 | 7.457 | 32.889 | 55.260 | 4.394 |
| | | 50 | 24.145 | 18.376 | 52.244 | 5.235 |
| | San Buenaventura | 1 | 0.000 | 2.296 | 93.737 | 3.967 |
| | | 15 | 6.383 | 39.495 | 53.723 | 0.399 |
| | | 25 | 24.219 | 11.730 | 60.844 | 3.207 |
| | | 50 | 25.630 | 27.521 | 45.588 | 1.261 |
| | San Juan La Laguna | 1 | 4.589 | 55.857 | 39.372 | 0.181 |
| | | 15 | 8.556 | 14.973 | 68.271 | 8.200 |
| | | 25 | 7.430 | 20.846 | 67.286 | 4.438 |
| | | 50 | 29.814 | 32.547 | 36.770 | 0.870 |

Fuente: Trabajo de campo, 2014

Tomando como base el análisis de componentes principales, se elaboraron gráficos de sobreposición de las variables (porcentaje de arena gruesa, arena fina, limo, limo fino y arcilla) para evidenciar la composición granulométrica de los sitios de muestreo.

6.3.1 Arena gruesa

San Buenaventura, Santiago Atitlán y San Lucas Tolimán a 1m de profundidad fueron los sitios que presentaron mayor porcentaje de arena gruesa en su composición granulométrica, con 65.27, 42.49 y 37.10% respectivamente. De manera contrastante San Buenaventura a 15 y 50m y Santiago Atitlán a 15m fueron los sitios que no presentaron porcentaje de arena gruesa (Figura No. 36).

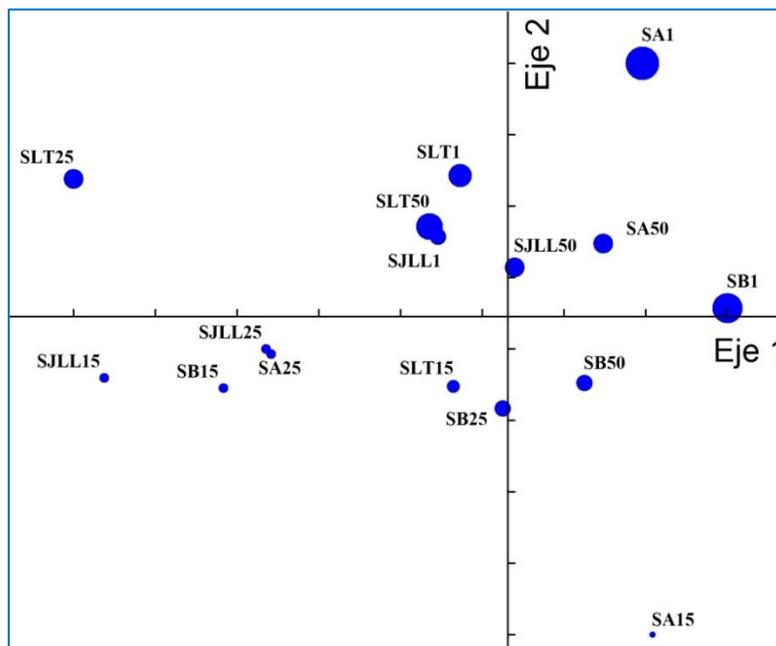


Figura No. 36 Proporciones de arena gruesa en los sitios de muestreo
(Trabajo de campo, 2014)

Las partículas de mayor tamaño y peso se depositan generalmente en la zona más cercana a la orilla de los cuerpos de agua, acumulándose en los primeros metros de la zona litoral (Roldán y Ramírez, 2008), como se puede evidenciar principalmente en los puntos ubicados a 1m de profundidad.

6.3.2 Arena fina

San Juan La Laguna y San Lucas Tolimán a 1m, así como Santiago Atitlán a 50m, fueron los tres puntos que presentaron mayor porcentaje de arena fina con 55.85, 55.28 y 46.93% respectivamente. Santiago Atitlán y San Buenaventura a 15m fueron los sitios con menor porcentaje de arena fina con 0.43 y 1.79% (Figura No. 37).

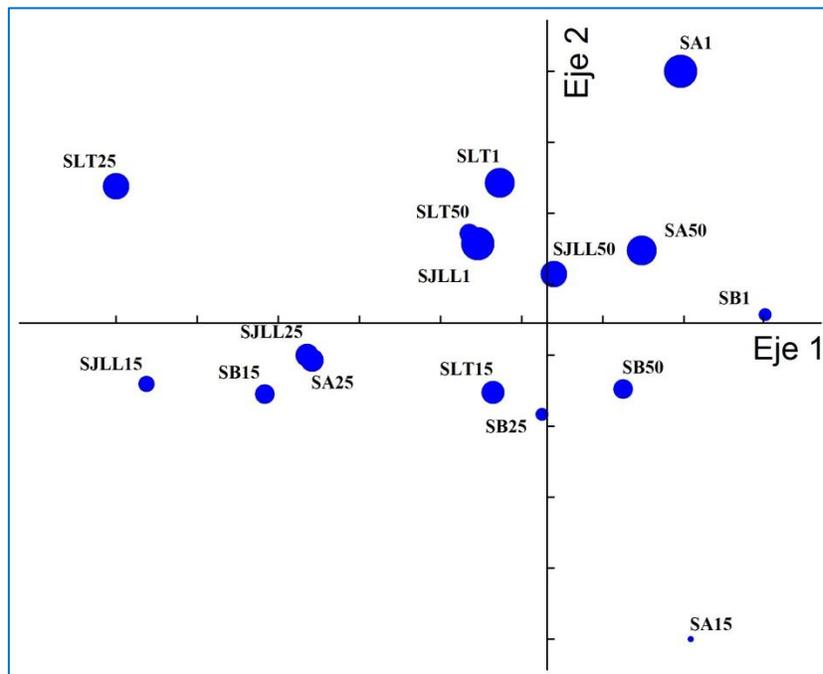


Figura No. 37 Proporciones de arena fina en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

La presencia de arena fina a 50m puede deberse al arrastre de la misma a lo largo de la zona litoral y sublitoral, por efecto de las corrientes internas (Roldán y Ramírez, 2008), al igual que en otros lagos (Barton, 1986).

6.3.3 Limo

Santiago Atitlán a 15m fue el sitio que presentó mayor porcentaje de limo con 97.63% en abril, durante el muestreo de julio únicamente se colectó una capa densa de microalgas muertas, imposibilitando el análisis granulométrico para ese punto en época lluviosa.

Todos los puntos ubicados en San Buenaventura (1, 15, 25 y 50m), presentaron porcentajes elevados de limo superiores al 82%. De manera general el limo fue el tipo de sustrato que predominó a 15, 25 y 50m de profundidad en todos los sitios de muestreo (Figura No. 38).

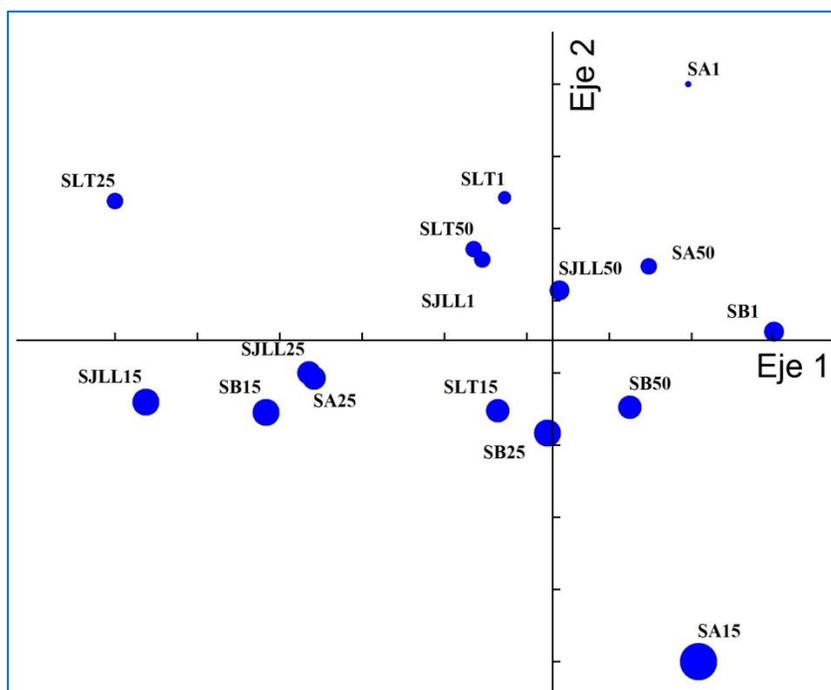


Figura No. 38 Proporciones de limo en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

El limo es un tipo de sustrato más liviano que la arena, por lo que tiende a acumularse en las zonas de mayor profundidad de los cuerpos de agua, debido a que la velocidad con la que se sedimenta es mucho menor en comparación con la arena, permitiéndole llegar a la zona sublitoral y profunda (Roldán y Ramírez, 2008), como se puede observar en los resultados obtenidos al ser el tipo de sustrato dominante a 15, 25 y 50m.

6.3.4 Limo fino y arcilla

San Juan La Laguna a 1m, San Buenaventura a 15m y San Lucas Tolimán a 50m, fueron los sitios que presentaron mayor porcentaje de limo fino y arcilla con 8.2, 5.93 y 5.23% respectivamente. Mientras que Santiago Atitlán a 50m no presentó limo fino y arcilla en su

composición granulométrica, esto pudiéndose deber a la dominancia por parte de las partículas de limo y arena fina (Figura No. 39).

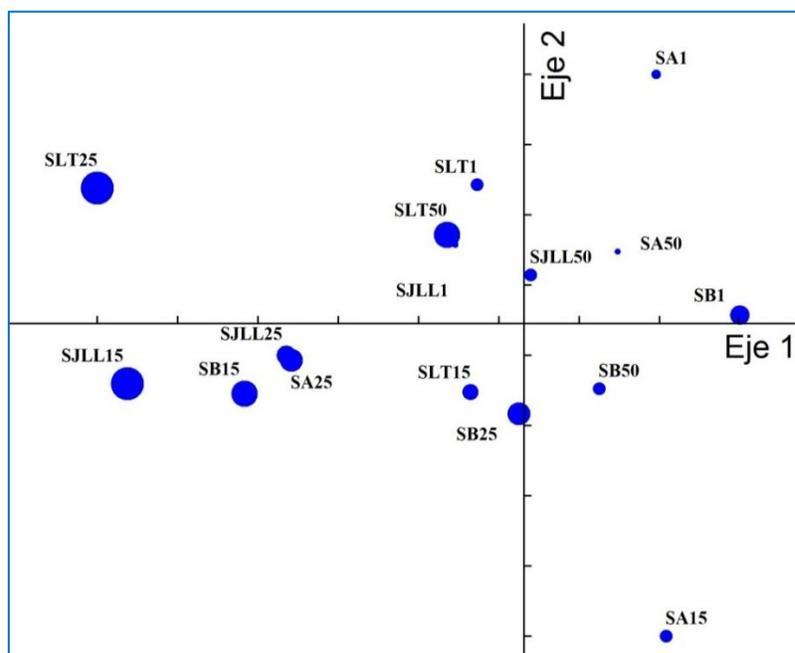


Figura No. 39 Proporciones de limo fino y arcilla en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)

6.4 Relación entre el ensamble de macroinvertebrados bentónicos y las variables fisicoquímicas y granulométricas de la zona litoral y sublitoral

6.4.1 Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), muestra que la varianza entre las variables ambientales puede ser explicada por los tres primeros ejes en un 64.02%. El primer eje está correlacionado con las variables pH, conductividad, DBO₅, turbidez, salinidad, % de limo fino y arcilla (Cuadro No. 6).

Cuadro No. 6 Valores de correlación entre los ejes de ordenación y las variables ambientales del análisis de componentes principales

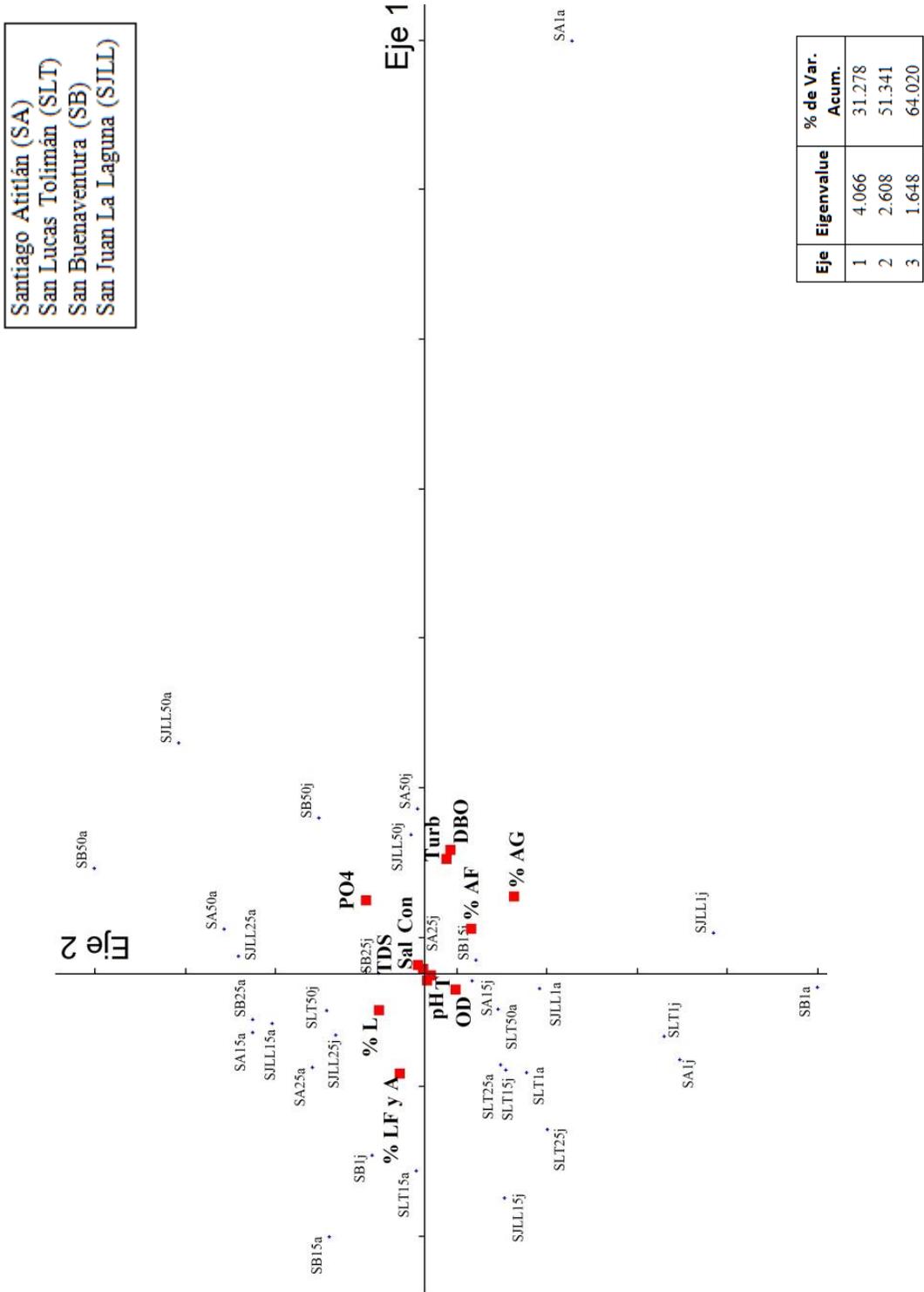
| Variable | Eje 1 | Eje 2 | Variable | Eje 1 | Eje 2 |
|---------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------|---------|
| Oxígeno disuelto (OD) | -0.1268 | -0.3964 | Ortofosfatos (PO ₄) | 0.1369 | 0.1674 |
| Temperatura (T) | -0.0368 | -0.5206 | Salinidad (Sal) | 0.3819 | 0.1508 |
| pH | -0.3731 | -0.2114 | % Arena gruesa (AG%) | 0.1874 | -0.3350 |
| Conductividad (Con) | 0.4027 | 0.1275 | % Arena fina (AF%) | 0.1857 | -0.3038 |
| Sólidos Disueltos Totales (TDS) | 0.1946 | 0.2144 | % Limo (L%) | -0.2102 | 0.4158 |
| DBO | 0.3755 | -0.1186 | % Limo fino y arcilla (LF y A%) | -0.2321 | 0.0892 |
| Turbidez (Turb) | 0.4123 | -0.1213 | | | |

Fuente: Trabajo de campo, 2014

El gráfico de ordenación ubica en el lado izquierdo los sitios de muestreo que presentaron menor porcentaje de arena gruesa y fina siendo 15 y 25m las profundidades más recurrentes y con mayor porcentaje de limo. El punto correspondiente a Santiago Atitlán a 1m, presentó las concentraciones más altas para DBO, turbidez, ortofosfatos y porcentajes elevados de arena gruesa en su composición granulométrica, principalmente durante el muestreo en época seca (abril), convirtiéndolo en un sitio con características ambientales distintas en comparación con el resto de sitios de muestreo.

En relación a los parámetros fisicoquímicos del agua, los sitios que presentaron las mayores concentraciones de DBO₅, ortofosfatos, turbidez, conductividad y sólidos disueltos totales se agrupan del lado derecho del gráfico de ordenación, tales como San Buenaventura a 15, 25 y 50m, San Juan La Laguna a 1, 25 y 50m durante la época lluviosa (julio), Santiago Atitlán a 1 y 50m tanto en época seca (abril) como lluviosa (julio) (Figura No. 40).

Estos valores están asociados a los lugares afectados por altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes, así como de sólidos disueltos, lo cual conlleva a que se presenten bajos niveles de oxígeno disuelto, lecturas elevadas de turbidez y baja penetración de la luz, así como de una fuerte mineralización (Roldán y Ramírez, 2008).



| Eje | Eigenvalue | % de Var. Acum. |
|-----|------------|-----------------|
| 1 | 4.066 | 31.278 |
| 2 | 2.608 | 51.341 |
| 3 | 1.648 | 64.020 |

Figura No. 40 ACP de las variables ambientales de los sitios de muestreos en abril (a) y julio (j) (Trabajo de campo, 2014)

De igual forma, del lado izquierdo del gráfico de ordenación se agrupan los puntos de muestreo que presentaron los valores más altos de oxígeno disuelto, pH y temperatura, así como de los porcentajes más elevados de limo, limo fino y arcilla, tales como Santiago Atitlán a 15m, San Buenaventura a 1, 15 y 25m en época seca (abril) y San Lucas Tolimán a 1, 15, 25 y 50m en época seca (abril) y lluviosa (julio), evidenciando que son sitios que presentan características que sugieren una mejor calidad del agua (Roldán y Ramírez, 2008) (Figura No. 40).

El análisis de componentes principales fue validado con el test de permutaciones de Monte Carlo ($p > 0.05$), por lo que se puede concluir de que no existen diferencias significativas en relación a las condiciones ambientales entre los sitios de muestreo. Las variaciones en las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y los porcentajes de arena, limo y arcilla pueden deberse a cambios particulares en el ambiente (e.g., perturbación antropogénica) al momento de la toma de la muestra y no necesariamente a un comportamiento distinto entre sitios o profundidades. Sin embargo, para comparar verdaderamente que no existen diferencias entre las condiciones ambientales entre los sitios, es necesario incrementar el esfuerzo, aumentando el número de sitios y profundidades, así como la cantidad de muestras, para tener mayor representatividad.

6.4.2 Análisis de correspondencia canónica (ACC)

- Variables fisicoquímicas

Los primeros tres ejes del análisis de correspondencia canónica (ACC), explican un 52.8% de la varianza entre la relación de las variables fisicoquímicas del agua y biológicas (macroinvertebrados bentónicos). El primer eje está correlacionado con las variables de oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales, DBO y turbidez. El test de permutaciones de Monte Carlo (500 permutaciones) mostró que el primer eje de ordenación no muestra diferencias significativas ($p > 0.05$), por lo que la distribución de los macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral, no se ve influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua. Algunos autores sugieren que el factor principal que determina los patrones de distribución de los macroinvertebrados bentónicos a gran escala es

el estado trófico del cuerpo de agua (Cowell y Darrel, 1980) y no los parámetros fisicoquímicos del agua por separado.

En la figura de ordenación se puede observar que los tres taxa que se ven mayormente influenciados por el oxígeno disuelto son Dugesiidae, Ostracoda e *Hyaella sp.*, agrupándose en el lado derecho. En el caso de la familia Dugesiidae, se ha reportado que son organismos que viven en aguas bien oxigenadas y poco profundas (Roldán y Ramírez, 2008), lo cual explicaría su preferencia por puntos que presentaron saturación de oxígeno disuelto y ubicados a un metro de profundidad como en Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán y San Buenaventura, reportándose a una profundidad máxima de 15m en San Juan La Laguna. De igual forma los taxa *Pisidium sp.*, Clitellata e Hirudinea se ven influenciados por las concentraciones de sólidos disueltos totales, DBO, conductividad y turbidez, encontrando dichos organismos en lugares con concentraciones elevadas para las variables mencionadas. Muchos autores coinciden con que los clitelatos y los hirudíneos son organismos característicos de lugares con contaminación orgánica y bajas concentraciones de oxígeno (Cowell y Darrel, 1980; Roldán y Ramírez, 2008; Sermeño Chicas *et al.*, 2010; Hanson *et al.*, 2010).

De acuerdo al ACC, la morfo-especie 1 de la familia Thiaridae y la tribu Chironominií tienen preferencias por sitios donde las concentraciones de ortofosfatos son bajas y se ven influenciados ligeramente por la temperatura y el pH en comparación con los otros taxa de macroinvertebrados (Figura No. 41).

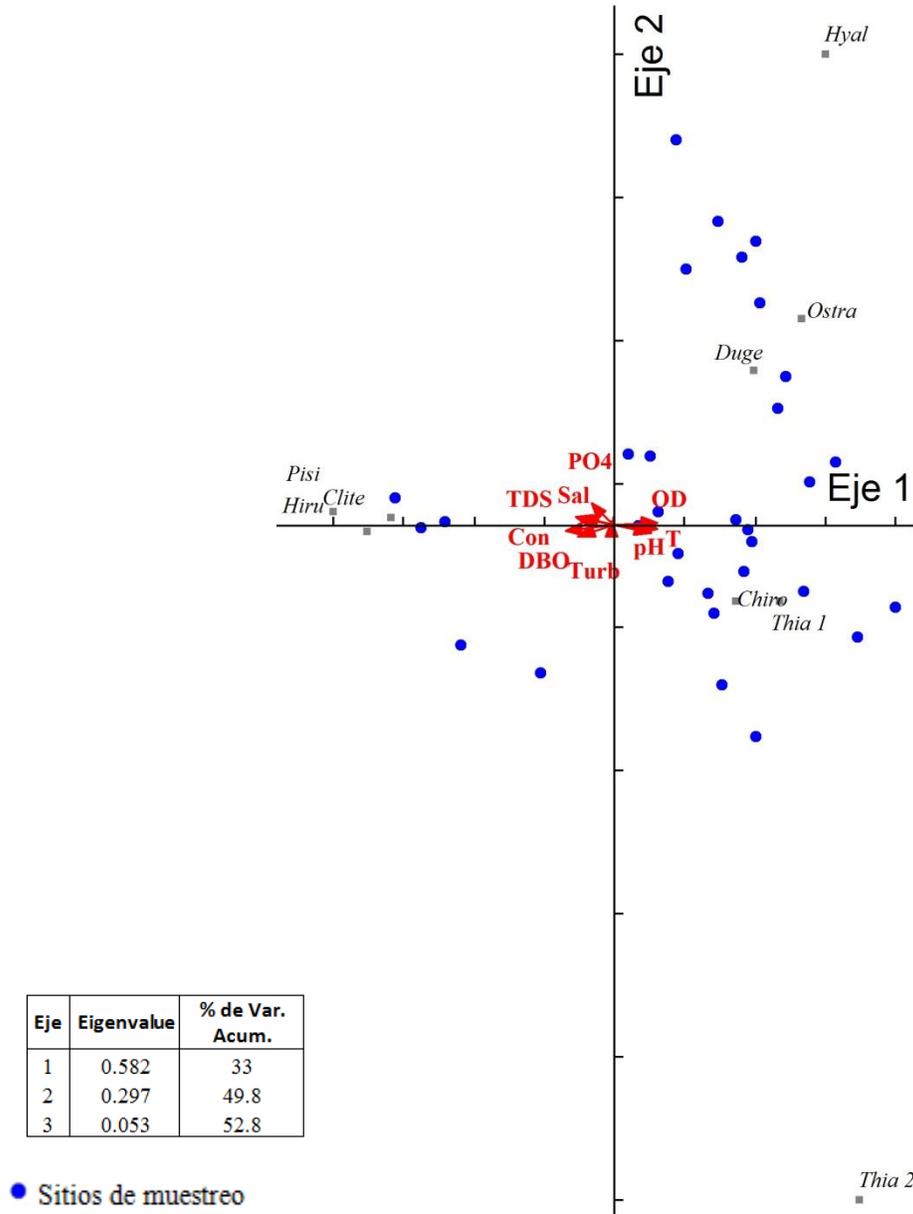


Figura No. 41 Ordenación de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables físico-químicas (Trabajo de campo, 2014)

Algunas variables ambientales tales como la alcalinidad, conductividad, pH, tamaños de partícula y la cantidad de materia orgánica tienen poca importancia en relación a la composición de las especies de macroinvertebrados bentónicos (Heino, 2000), tal y como se evidencia en el test de permutaciones de Monte Carlo. Por otro lado, variables relacionadas a las condiciones tróficas (nitrógeno y fósforo total) y la profundidad han sido citadas como

factores importantes que influyen la estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos (Heino, 2000). Los gradientes de profundidad pudieron haber sido más evidentes si se hubiera tomado la zona profunda como parte del área de estudio.

Los quironómidos y clitelatos son organismos que pueden ser utilizados como indicadores del estado de trófico de cuerpos de agua lénticos, esto debido a su tolerancia a bajos niveles de oxígeno disuelto y altas concentraciones de materia orgánica (Cowell y Darrel, 1980). Esto coincide con la figura de ordenación donde la tribu Chironomini y la clase Clitellata son dos de los taxa asociados a los sitios donde se reportaron las condiciones más bajas de oxígeno, junto con otros organismos como los hirudíneos y los bivalvos del género *Pisidium sp* (Figura No. 41). Se ha evidenciado que los clitelatos presentan una preferencia por sitios no influenciados por la acción del oleaje (Weatherhead y Mark, 2001), lo cual muestra una concordancia al ser los sitios de mayores profundidades (San Buenaventura a 50m) los que presentaron las mayores densidades de estos organismos.

Por otro lado ciertos taxa como Hyalella, DugesIIDae, Ostracoda, Chironomini y la morfoespecie 1 de la familia Thiaridae se asocian a sitios con concentraciones bajas de sólidos disueltos totales y por ende conductividad. Desde el punto de vista ecológico los sitios con elevadas cantidades de dichos parámetros, pueden convertirse en un factor limitante para el desarrollo adecuado de los organismos, principalmente por la presión osmótica. De igual forma puede dañar el sistema de intercambio gaseoso de los organismos animales acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008).

- Composición granulométrica del sedimento

Los primeros tres ejes del ACC explican únicamente un 11% de la varianza entre la relación de la composición granulométrica del sedimento y el ensamble de macroinvertebrados bentónicos. Las cuatro variables correspondientes a la composición granulométrica del sedimento están correlacionadas al eje 2 de la figura de ordenación. El test de permutaciones de Monte Carlo (500 permutaciones) evidenció que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$), por lo que la distribución de los macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral, no se ve influenciada por las características granulométricas del sedimento. Esto

coincide con otros estudios realizados en cuerpos de agua lénticos en donde la composición del sedimento (tamaño de partícula) no tiene una influencia directa en la distribución de las comunidades de macroinvertebrados (Cowell y Darrel, 1980; Heino, 2000).

Se puede evidenciar una relación entre los taxa *Pisidium sp.*, *Hyaella sp.*, Clitellata, Hirudinea y Dugesidae con sitios que presentaron porcentajes elevados de arena gruesa, no restringiéndolos a lugares con dichas características (Roldán y Ramírez, 2008). Por otro lado la morfo-especie 1 de la familia Thiaridae y la tribu Chironomini se asociación a sitios con altos porcentajes de limo, limo fino y arcilla. La morfo-especie 2 de la familia Thiaridae, encontrada únicamente en el muestreo correspondiente a la época lluviosa (julio) en San Lucas Tolimán a 1 y 15m, se asocia a lugares con presencia de arena fina (Figura No. 42).

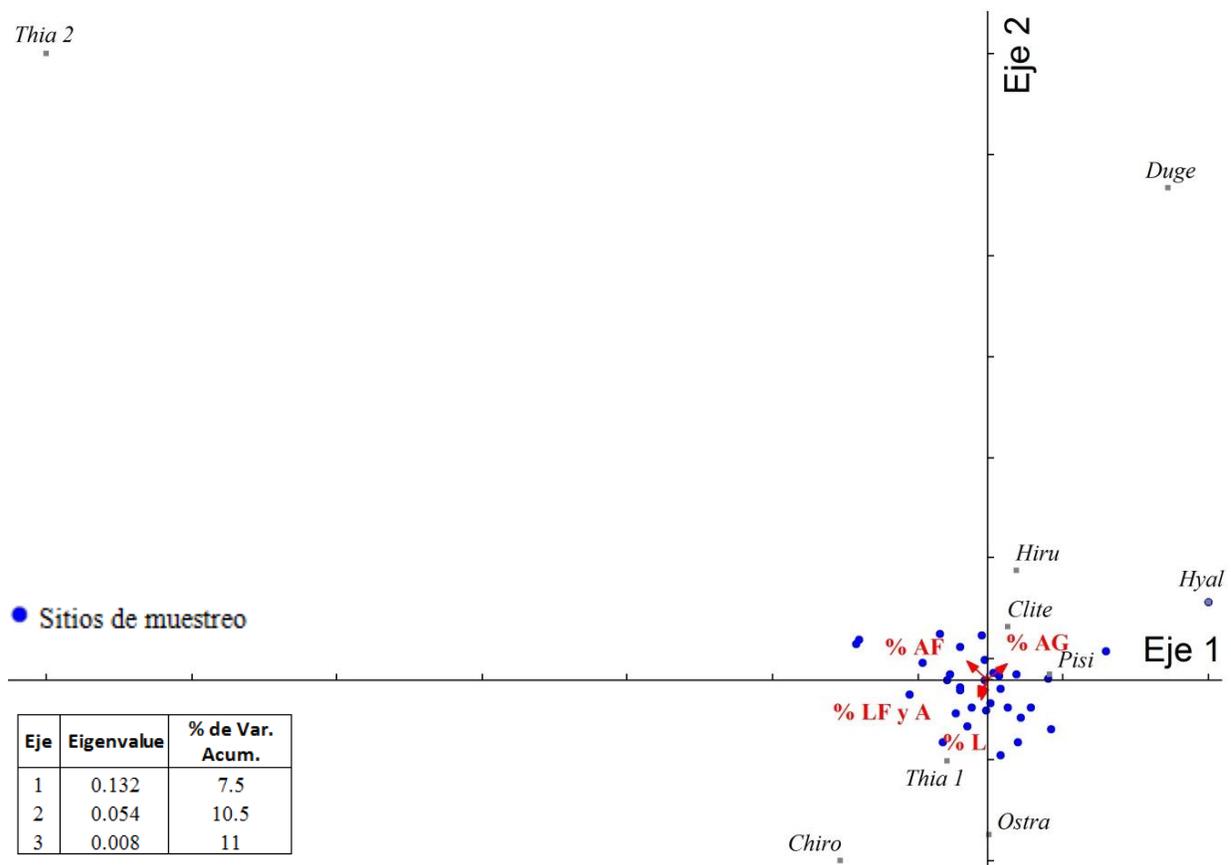


Figura No. 42 Ordenación de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y la granulometría del sustrato (Trabajo de campo, 2014)

Finalmente se puede mencionar que ciertos taxa de macroinvertebrados bentónicos como lo son Clitellata, Hirudinea, *Pisidium* y Chironomii son organismos que presentan preferencias por sitios con contaminación orgánica (Roldán y Ramírez, 2008), como lo son San Buenaventura y Santiago Atitlán, al ser dos bahías que por los fuertes vientos, tienden a acumular altas cantidades de sólidos, propiciando las condiciones adecuadas para el desarrollo de dichos organismos bentónicos. Pudiendo desplazar a otros taxa en cuanto que presentaron mayor grado de sensibilidad a las condiciones ambientales como *Hyalella*, Dugesidae y Ostracoda en relación a la abundancia.

7. CONCLUSIONES

1. Se registró un total de 18 taxa de macroinvertebrados bentónicos en la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, correspondientes a 15 familias, 12 órdenes y 9 clases.
2. Los sitios que presentaron mayor riqueza en la época seca (abril) fueron Santiago Atitlán y San Buenaventura con un total de 11 taxa cada uno, mientras que en la época lluviosa (julio) el sitio con mayor diversidad fue San Juan La Laguna en donde se reportaron 10 taxa.
3. En la época lluviosa (julio), el número de macroinvertebrados bentónicos recolectados en la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, se duplicó en comparación con la época seca (abril) con 3492 y 1737 organismos respectivamente.
4. Las clases con mayor abundancia y que estuvieron presentes en todos los sitios fueron Gastropoda (46.57%) y Clitellata (37.73%). En menor abundancia se encontraron Malacostraca (7.44%) e Hirudinea (3.52%), el resto se encontró por debajo del 2%.
5. Los tres taxa dominantes en la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán son la morfoespecie 1 de la familia Thiaridae con 2391 individuos, seguido de Haplotaxida (Clitellata) e *Hyaella sp.* (Hyaellidae: Amphipoda) con 1973 y 389 organismos respectivamente.
6. En cuanto a la riqueza y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, no se evidenciaron diferencias significativas por estaciones del año (seca y lluviosa).
7. La abundancia por taxa entre los sitios de muestreo, así como también entre los puntos de muestreo (1, 15, 25 y 50m) de San Buenaventura, San Juan La Laguna y San Lucas Tolimán, no presentó diferencias significativas. En el caso de Santiago Atitlán, se encontró que el punto ubicado a 15m difiere significativamente de los otros puntos (1, 25 y 50m), ya que presentó una abundancia menor de macroinvertebrados bentónicos.
8. La distribución de los macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, no se ve influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua ni por la composición granulométrica del sedimento.

8. RECOMENDACIONES

1. Establecer un programa de monitoreo de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos por parte del Departamento de Investigación y Calidad Ambiental de la AMSCLAE, incluyendo la zona profunda con el objetivo de generar datos de los componentes biológicos del lago de Atitlán y los cambios que puedan presentarse en dichas comunidades como resultado del proceso de deterioro de la calidad del agua por las actividades antropogénicas realizadas dentro de la cuenca.
2. Ampliar el número de sitios, muestras y frecuencia de muestreo, para determinar la dinámica de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos a largo plazo.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Barton, D.R. (1986). Nearshore benthic invertebrates of the Ontario waters of lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 12(4): 270-280.
2. Brezonik, P., y Fox, J. (1974). The limnology of selected Guatemalan lakes. *Hydrobiologia*, 45 (4), 467 - 487.
3. Brown, K. (2001). *Mollusca: Gastrópoda*. En Thorp, J., y Covich, A. (Eds.). *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. United States: Academic press.
4. Caires, A., y Chandra, S. (2012). Conversion factors as determined by relative macroinvertebrate sampling efficiencies of four common benthic grab samplers. *Journal of Freshwater Ecology*, 27 (1), 97-109.
5. CEA. s.f. *Lo que hemos aprendido sobre el Lago Atitlán* [en línea]. Centro de Estudios Atitlán, Universidad del Valle de Guatemala. Recuperado Marzo 03, 2014, de <http://www.cea-atitlan.org.gt/index.php/es/>
6. Chandra, S., Rejmánková, E., Dix, M., Girón, N., Mosquera, V., Komárek, J., Komárková, J., Henery, R., Heyvaert, A., y Caires, A. (2013). *Estado del lago Atitlán: informe 2013*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala [UVG].
7. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., y Rhodes Trussell, R. (Eds.). (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
8. Cowell, B., y Vodopich, D. (1980). Distribución y abundancia estacional de los macroinvertebrados bentónicos en un lago subtropical de Florida. *Hydrobiología*, 78 (1), 97-105.
9. Cowell, B. C., y Darrel, S. (1980). *Distribution and seasonal abundance of benthic macroinvertebrates in a subtropical Florida lake*. Florida: University of South Florida.
10. Dix, M., Dix, M., Cabrera, D., Symonds, E., Orozco, M., Toledo, A., y Bocel, E. (2012). *El lago de Atitlán: su estado ecológico octubre 2009 - diciembre 2010*. Guatemala: Ediciones Maya Na'oj.

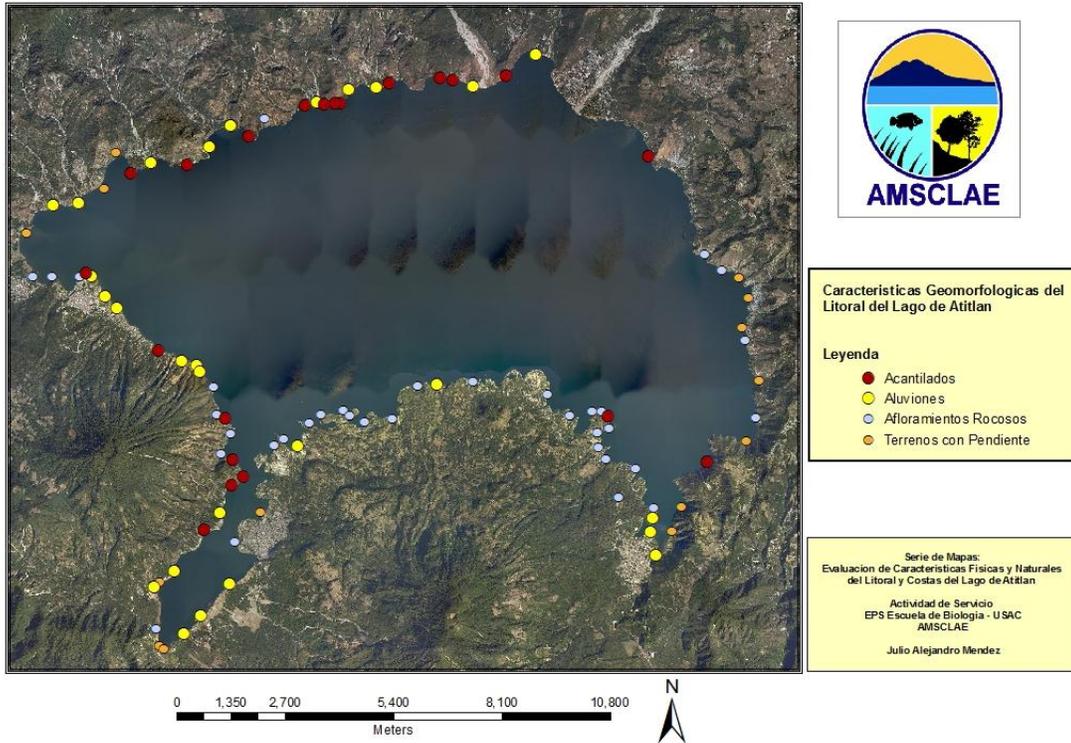
11. Dix, M., Medinilla, O., y Castellanos, E. (2003). *Diagnóstico ecológico social de la reserva de uso múltiple cuenca del lago de Atitlán*. Guatemala: Ediciones Superiores.
12. Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, L. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 3-37.
13. Heino, J. (2000). Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity, habitat size and water chemistry. *Hydrobiología*, 418 (1), 229-242.
14. Jiménez, C., y Springer, M. (1996). Depth related distribution of benthic macrofauna in a Costa Rican crater lake. *Revista de Biología Tropical*, 44 (1), 673-678.
15. Jiménez, C., y Springer, M. (1994). Vertical distribution of benthic macrofauna in a Costa Rican crater lake. *Revista de Biología Tropical*, 42 (1/2), 175-179.
16. Lewis, W. M. (1996). *Tropical lakes: how latitude makes a difference*. In Schiemer, F., y Boland, K. T. (Eds.). *Perspectives in Tropical limnology*. Holanda: SPB Academic Publishing.
17. López, G. (1988). Comparative ecology of the macrofauna of freshwater and marine muds. *Limnology and Oceanography*, 33 (4), 946-962.
18. Martín Tamayo, I (2014). *Análisis de varianza* [en línea]. Recuperado octubre 31, 2014, de http://www.ugr.es/~imartin/TEMA5_ANOVA.pdf
19. McCune, B., y Grace, J. (2002). *Analysis of ecological communities*. United States: MjM Software Design.
20. Mcdonald, J. (2014) *Handbook of biological statistics* [en línea]. Recuperado octubre 31, 2014, de <http://www.biostathandbook.com/kruskalwallis.html>
21. Menjivar Rosa, R. A. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Diptera en El Salvador*. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.). *Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA)*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
22. Merritt, R.W., Cummins, K.W., y Berg, M. B. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*. United States: Kendall/Hunt Publishing Company.
23. Minshall, G. W. 1984. *Aquatic insect-substratum relationships*. In Resh, V. H., y Rosenberg, D. M. (Eds.). *The ecology of aquatic insects*. New York: Praeger.

24. Ramírez, A. (2010). Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4): 97-136.
25. Reyes, E. (2013). Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la región Maya, Guatemala. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala*, 23 (1), 7-17.
26. Roldán Pérez, G., y Ramírez Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. (2ª ed.). Colombia: Editorial Universitaria de Antioquía.
27. Sermeño Chicas, J. M., Serrano, L., Springer, M., Paniagua, M., Pérez, D., Rivas, A., Menjivas, R., Bonilla, B., Carranza, F., Flores, J., Gonzáles, C., Gutiérrez, P., Hernández, M., Monterrosa, A., y Arias, A. (2010). *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010)*. El Salvador: Editorial Universitaria UES.
28. Sibaja-Cordero, J., y Umaña-Villalobos, G. (2008). Invertebrados bentónicos del lago Cote, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56 (4), 205-213.
29. Skinner, J. (2008). *Bases para el ordenamiento territorial de la cuenca del Lago Atitlán*. Tesis Maestría en Ordenamiento Territorial. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 240 p.
30. Springer, M. (2010). Trichoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 151-198.
31. Trama, F. A., Rizo, V. F., y Springer, M. (2009). Macroinvertebrados bentónicos del humedal de Palo Verde, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57 (1), 275-284.
32. Umaña, G., y Jiménez, C. (1995). The basic limnology of a low altitude tropical crater lake: Cerro Chato, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 43 (1), 131-138.
33. USCS (2013). Sistema de clasificación de suelos [en línea]. Recuperado agosto 23, 2014, de <http://www.unilibresoc.edu.co/mecsuelos/htm/cap4/42.htm>
34. Weatherhead, M., y Mark, J. (2001). Distribution of macroinvertebrates in relation to physical and biological variables in the litoral zone of nine New Zealand lakes. *Hydrobiología*, 462 (1), 115-129.
35. Williams, D. D., y Feltnate, B. W. (1992). *Aquatic insects*. Reino Unido: C.A.B. International. Redwood Press.

10. ANEXO

| Sitio de muestreo | Profundidad (m) | X | Y |
|--------------------------|------------------------|----------|----------|
| San Buenaventura | 1 | 428116 | 1630871 |
| | 15 | 428107 | 1630832 |
| | 25 | 428133 | 1630764 |
| | 50 | 428013 | 1630715 |
| Santiago Atitlán | 1 | 421328 | 1619261 |
| | 15 | 421323 | 1619387 |
| | 25 | 421260 | 1619448 |
| | 50 | 421073 | 1619858 |
| San Lucas Tolimán | 1 | 430928 | 1618829 |
| | 15 | 430977 | 1618906 |
| | 25 | 430944 | 1618909 |
| | 50 | 430974 | 1618980 |
| San Juan La Laguna | 1 | 415276 | 1626245 |
| | 15 | 415365 | 1626195 |
| | 25 | 415425 | 1626192 |
| | 50 | 415557 | 1626158 |

Anexo No. 1 Coordenadas GTM de los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2014)



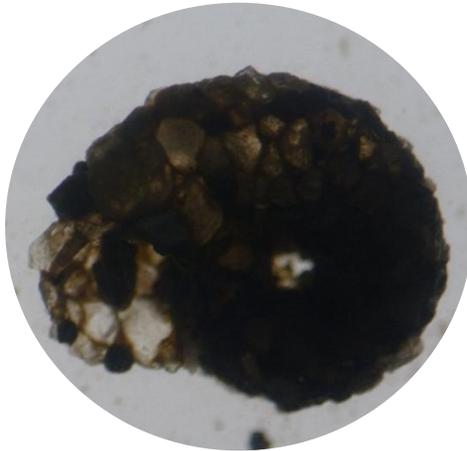
Anexo No. 2 Características geomorfológicas del litoral del lago de Atitlán (DICA AMSCLAE, 2012).



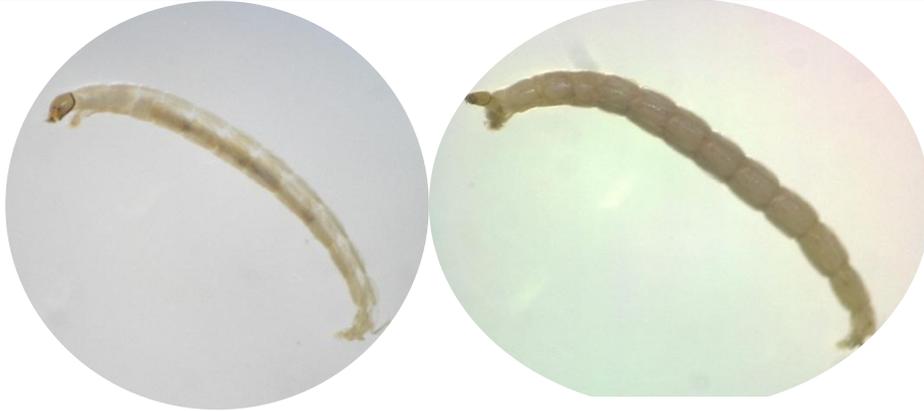
Nehalennia sp. (Orden Odonata, Familia Coenagrionidae)



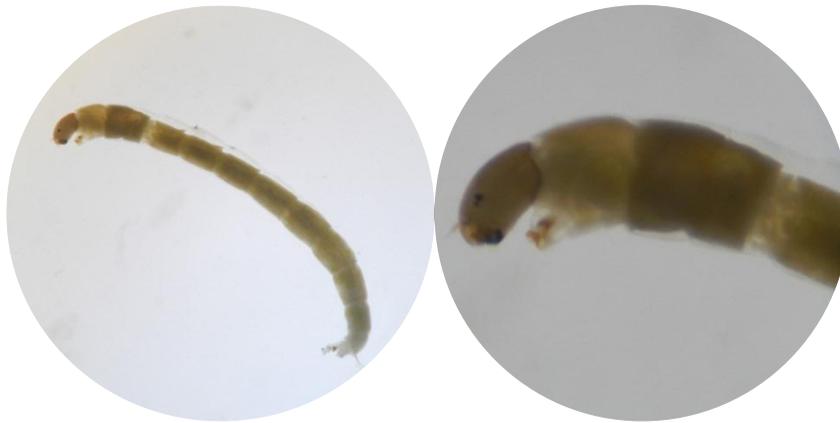
Oxyethira sp. (Orden Trichoptera, Familia Hydroptilidae)



Helicopsyche sp. (Orden Trichoptera, Familia Helicopsychidae)



Chironomini (Orden Diptera, Familia Chironomidae)



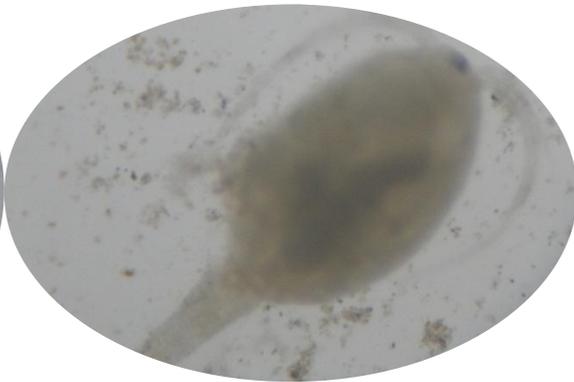
Orthocladinae (Orden Diptera, Familia Chironomidae)



Tanytarsini (Orden Diptera, Familia Chironomidae)



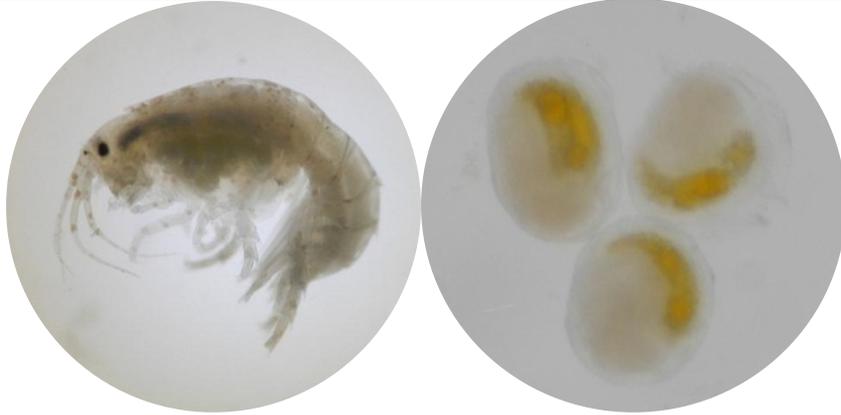
Psychodidae (Orden Diptera)



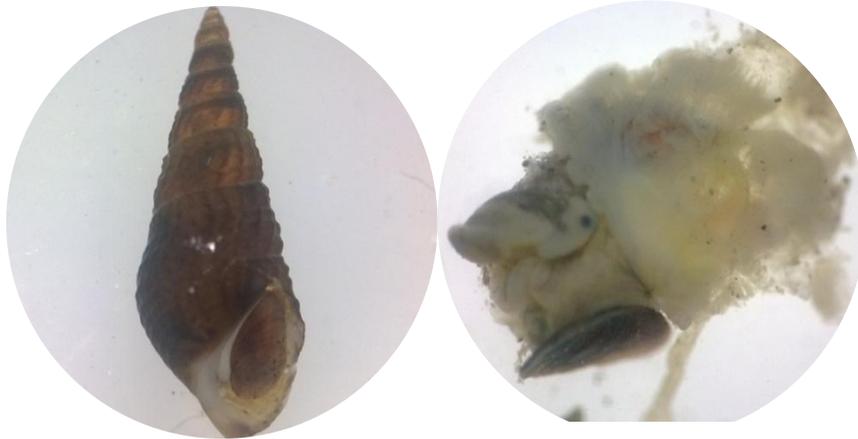
Copepoda (Filo Arthropoda, Subfilo Crustacea, Clase Maxillopoda)



Ostracoda (Filo Arthropoda, Subfilo Crustacea)



Hyaella sp. (Orden Amphipoda, Familia Hyalellidae) y sus huevos



Morfo-especie 1 (Filo Mollusca, Clase Gastropoda, Familia Thiariidae)



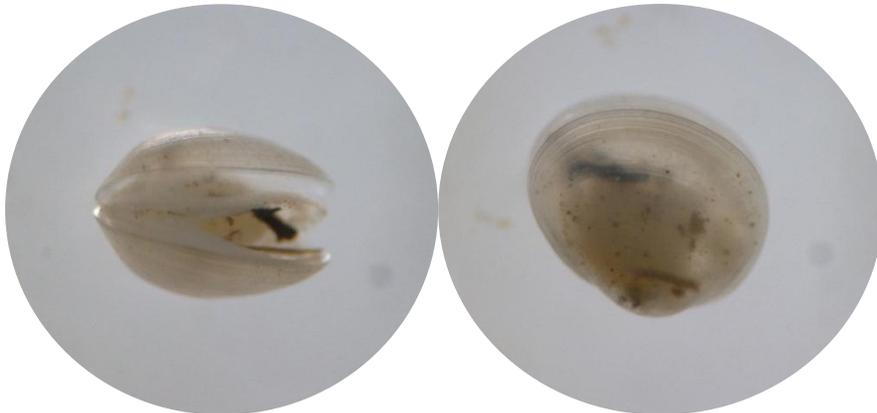
Morfo-especie 2 (Filo Mollusca, Clase Gastropoda, Familia Thiariidae)



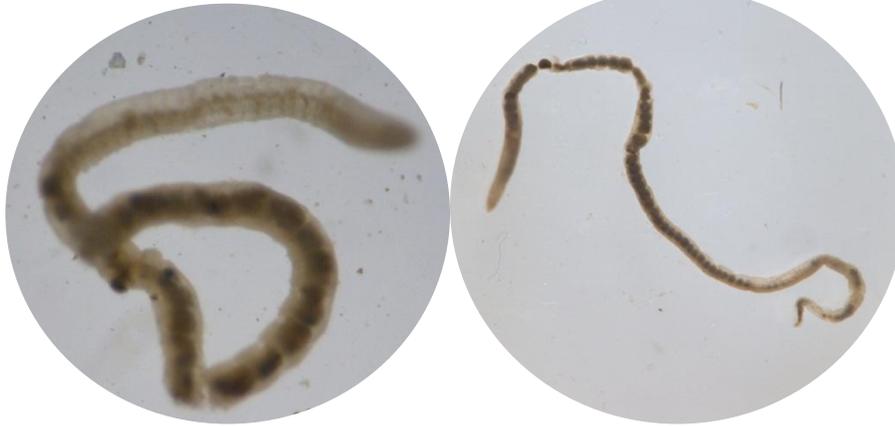
Hydrobiidae (Filo Mollusca, Clase Gastropoda)



Physidae (Filo Mollusca, Clase Gastropoda)



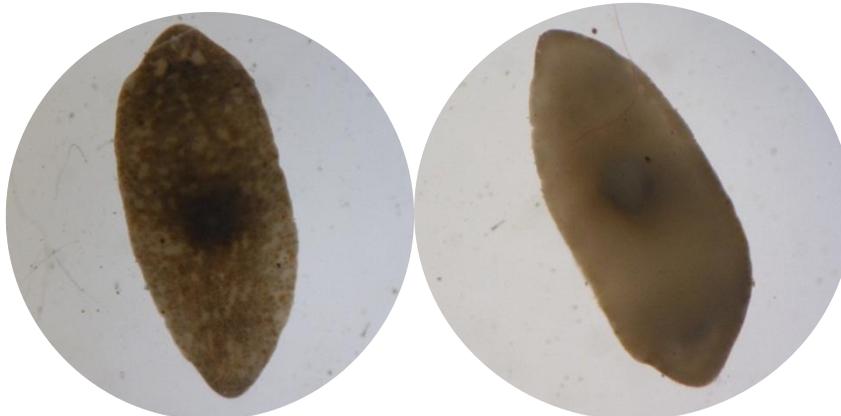
Pisidium sp. (Filo Mollusca, Clase Bivalvia, Familia Pisidiidae)



Clitellata (Filum Annelida)



Hirudinea (Filum Annelida)



Dugesiiidae (Filum Platyhelminthes, Clase Turbellaria)

Anexo No. 3 Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán
(Trabajo de campo, 2014)