

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man on a white horse, holding a staff, set against a background of green hills and a blue sky. Above the figure is a golden crown and a lion rampant. The seal is surrounded by a circular border containing the Latin text "UNIVERSITAS SAN CAROLINI CONSPICUA" at the top and "ACADEMIA COACTIVA INTER" at the bottom.

**CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO POLOCHIC, ALTA
VERAPAZ, MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
COMO BIOINDICADORES**

Presentado por:

T.A. SARA ABIGAIL LEAL SALGUERO

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

Guatemala, mayo de 2016

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man in a red and white robe, likely a saint or scholar, holding a book. The figure is surrounded by various symbols including a castle, a lion, and a cross. The text around the border of the seal reads "ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CATHOLICIS CONSPICUA CAROLINA ACAD. DE SAN CARLOS DE GUATEMALA".

**CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO POLOCHIC, ALTA
VERAPAZ, MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
COMO BIOINDICADORES**

Presentado por:

T.A. SARA ABIGAIL LEAL SALGUERO

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

Asesor: Lic. José Roberto Ortíz Aldana

Guatemala, mayo de 2016



El 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 de la estudiante universitaria **Sara Abigail Leal Salguero**, titulado “CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO POLOCHIC, ALTA VERAPAZ, MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES” da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle

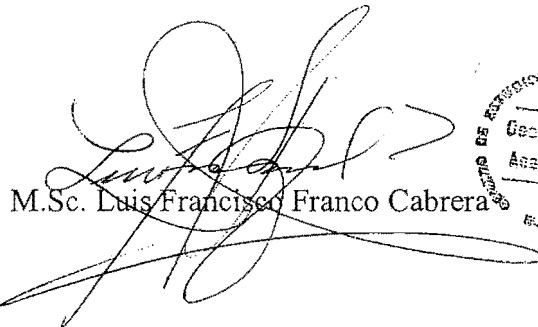


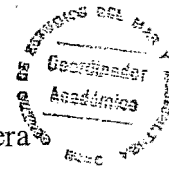
Guatemala, mayo 2016



El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA–, después de conocer el dictamen del asesor Lic. José Roberto Ortíz y la aprobación de la Encargada de EPS M.Sc. Irene Franco Arenales, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria **Sara Abigail Leal Salguero**, titulado “CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO POLOCHIC, ALTA VERAPAZ, MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


M.Sc. Luis Francisco Franco Cabrera



Guatemala, mayo 2016

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

Consejo Directivo

Presidente	M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle
Secretaria de Consejo Directivo	M.Sc. Kathya Iturbide Dormon
Representantes Docentes	M.Sc. Erick Villagrán Colón M.A. Olga Marina Sánchez Cardona
Representante del Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas	M.Sc. Adrián Mauricio Castro López
Representante Estudiantil	Lic. Francisco Emanuel Polanco Vásquez
Representante Estudiantil	T.A. María José Mendoza Arzu

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad de San Carlos de Guatemala USAC, por darme la oportunidad de estudiar y superarme como una profesional.
- Al Centro de Estudios de Mar y Acuicultura CEMA, por abrirme sus puertas y brindarme los conocimientos y experiencias para mi formación profesional.
- A la Fundación Defensores de la Naturaleza, Reserva de Vida Silvestres Bocas del Polochic, por el apoyo brindado a lo largo de mi investigación
- A mi asesor Lic. José Roberto Ortiz Aldana y al Dr. Pedro Julio García Chacón por el conocimiento y la amistad brindada a lo largo del desarrollo del trabajo de investigación.

DEDICATORIA

- A DIOS todo poderoso creador y Señor nuestro, quien me dio la sabiduría y fortaleza para alcanzar este triunfo.
- A mis padres Jorge Leal y Ofelinda Salguero, que son la bendición más grande y maravillosa que Dios ha puesto como respaldo en mi vida.
- A mis hermanas Christa, Paola y Jennifer, que forman parte de mis bendiciones, por su amor y respaldo en mí caminar.
- A mi familia especialmente a mis tías que con su amor y confianza en mi persona, han sido parte de mis bendiciones y motivación.
- A mis amigos de la promoción 2015 que Dios me ha permitido conocer, a Juan Carlos Tejeda, Marco Elías, José Portillo, Melissa Ochoa, Stephanie Rueda, Roció Paz y Jesús Guzmán, con quien he compartido una parte de mi vida
- A Guatemala, mi país, que con su gente valiente, esforzada y trabajadora, me ha dado la oportunidad de estudiar en la Universidad de San Carlos.

RESUMEN

El río Polochic es uno de los principales cuerpos de agua que drenan sus aguas al lago de Izabal. Se tiene poca información científica relacionada con el componente biológico, específicamente con la abundancia y diversidad de macroinvertebrados, los cuales forman parte importante del ecosistema acuático. Los macroinvertebrados son organismos que habitan en diversos hábitats y la presencia o ausencia de los mismos permite determinar las condiciones de un cuerpo de agua, por lo que son considerados como bioindicadores de la calidad del agua.

El propósito del presente trabajo fue la evaluación de la calidad del agua de la cuenca media del río Polochic en base a la diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos considerados como bioindicadores, comparados con las variables fisicoquímicas de los sitios muestreados.

Se realizaron tres muestreos en los meses de abril, junio y agosto del 2015, en los que se recolectaron muestras de macroinvertebrados acuáticos y de agua en tres sitios, La Tinta, Telemán y Panzós, ubicados en la cuenca media del río Polochic. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Río Dulce y Lago de Izabal -AMASURLI- y el Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.

Se identificaron 26 familias de macroinvertebrados acuáticos, correspondientes a 10 órdenes y 3 clases. Se recolectaron 623 organismos, 35 durante la época seca (abril), 235 durante la época de transición (junio) y 353 en la época lluviosa (agosto).

La clase con mayor abundancia presente en los tres sitios de muestreos fue Insecta (83%), en menor abundancia se encontraron Gastropoda (13%) y Malacostraca (4%). Las familias más abundantes fueron Elmidae con 187 individuos, Leptohyphidae 159 y Thiaridae con

110 individuos. Las que representaron menor abundancia fueron las familias Aeshnidae, Coenagrionidae, Gerridae y Pachychilidae, con 2 organismos cada uno.

Las familias Leptohyphidae (Ephemeroptera), Elmidae (Coleoptera), Perlidae (Plecoptera) y Hydropsychidae (Tricoptera) son familias que habitan en ambientes muy limpios, con elevadas concentraciones de oxígeno, bajas concentraciones de sólidos totales disueltos, siendo estas características propias del punto la Tinta, mientras que las familias Gomphidae y Libellulidae (Odonatas), Elmidae (Coleoptera), Leptohyphidae y Baetidae (Ephemeroptera) y Hydropsychidae (Tricoptera), son organismos que suelen encontrarse en aguas limpias o ligeramente contaminadas, algunos órdenes llegando a tolerar ambientes altamente contaminados como los odonatos, estas familias se encuentran más estrechamente relacionadas con los sólidos totales disueltos y conductividad, características correspondientes a Telemán.

Mientras que la familia Chironomidae (Diptero) se ven influenciadas por la presencia de fosfatos y nitritos. La presencia de chironomidos indican un fuerte deterioro de la calidad del agua por lo que estos organismos habita en aguas muy contaminadas y pobres en oxígeno, dichas características son propias de Panzós.

De acuerdo a lo anterior se considera que la calidad del agua para el punto la Tinta es de buena calidad, moderadamente buena para Telemán y contaminada para Pánzos.

Mediante un análisis de conglomerados se estudió la similitud entre los sitios muestreados, la época de muestreo y las variables de calidad del agua evaluadas. El test de permutaciones de Monte Carlo (500 permutaciones) mostró que la abundancia de macroinvertebrados acuáticos se ve directamente influenciados por las condiciones físico químicas del agua, evidenciando diferencias significativas ($p < 0.05$).

ABSTRACT

The Polochic River is one of the main bodies of water that drain into Lake Izabal. There is little scientific information related to the biological component, specifically with the abundance and diversity of macroinvertebrates, which are an important part of the aquatic ecosystem. Macroinvertebrates are organisms that live in different habitats and the presence or absence of these conditions can indicate a body of water, so they are considered as bioindicators of water quality.

The purpose of this study was to evaluate the water quality of the river basin of the Polochic based on the diversity and abundance of aquatic macroinvertebrates considered as bioindicators of water quality compared with the physiochemical variables of the sampled sites.

Three samplings during the dry season (April) transition period (June) and rainy season (August) 2015, in which samples of aquatic macroinvertebrates and water were collected at three sites, Ink, and Panzós Telemán, located were conducted in the middle basin of the Polochic river. The samples were processed at the Laboratory of Water Quality Authority for the Sustainable Management of the Basin of Rio Dulce and Lake Izabal -AMASURLI- and the Laboratory of Biological Sciences and Oceanography Center for Marine and Aquaculture Studies -CEMA- .

26 families of aquatic macroinvertebrates, corresponding to 10 orders and 3 classes were identified. 623 bodies, 35 were collected during the dry season, 235 during the transition period and 353 in the rainy season.

This class more abundance in the three sampling sites was Insecta (83%), less abundant Gastropoda (13%) and Malacostraca (4%) were found. The most abundant families were Elmidae with 187 individuals, Leptohiphididae Thiaridae 159 and 110 individuals. They are representing the families were less abundant Aeshnidae, Coenagrionidae, Gerridae and Pachychilidae with 2 bodies each.

Families Leptohyphidae (Ephemeroptera), Elmidae (Coleoptera), Perlidae (Plecoptera) and Hydropsychidae (Tricoptera) are families living in very clean environments with high concentrations of oxygen, low concentrations of total dissolved solids, these being the characteristics of point ink, while families Gomphidae and Libellulidae (Odonatas) Elmidae (Coleoptera), Leptohyphidae and Baetidae (Ephemeropteras) and Hydropsychidae (Tricoptera), these agencies often ligermante encontraerse in clean or contaminated water, some orders coming to tolerate highly polluted environments as Odonata, these families are more closely related to the total dissolved solids and conductivity corresponding to Telemán features. While Chironomidae (Diptera) are influenced by the presence of phosphates and nitrates. Chironomids indicate the presence of a sharp deterioration in water quality so that these organisms live in highly polluted water and poor in oxygen, such characteristics are typical of Panzós.

Using a cluster analysis of the similarity between the sites sampled, the sampling time and estudion evaluated variables. The permutation test Monte Carlo (500 permutations) showed that the abundance of aquatic macroinvertebrates is directly influenced by the physicochemical conditions of the water, showing siganificativas differences ($p < 0.05$).

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Generalidades de los ríos	5
3.2 Calidad del agua	5
3.3 Biomonitoreos de calidad del agua	6
3.4 Macroinvertebrados como bioindicadores	6
3.4.1 Principales grupos de macroinvertebrados	8
3.5 Parámetros físicos	11
3.5.1 Temperatura	11
3.5.2 Conductividad eléctrica	12
3.5.3 Sólidos disueltos totales	12
3.5.4 Salinidad	12
3.5.5 Oxígeno disuelto OD	12
3.5.6 Potencial de hidrógeno (pH)	13
3.5.7 Transparencia	13
3.6 Parámetros químicos	13
3.6.1 Amonio	13
3.6.2 Nitritos y nitratos	13
3.6.3 Ortofosfatos	14
4. OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo general	15
4.2 Objetivos específicos	15
5. METODOLOGIA	16
5.1 Ubicación geográfica	16
5.2 Variables	17
5.3 Muestreo	17
5.3.1 Descripción de los sitios de muestreo	18
5.4 Selección de la muestra	20

5.5	Procedimiento	20
5.5.1	Recolecta de muestras de macroinvertebrados	20
5.5.2	Identificación de macroinvertebrados	22
5.5.3	Toma de muestras de agua y análisis de parámetros fisicoquímicos	23
5.6	Análisis de la información	24
5.6.1	Macroinvertebrados	24
5.6.2	Parámetros físico-químicos	25
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
6.1	Macroinvertebrados acuáticos de la cuenca media del río Polochic	26
6.1.1	Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos	26
6.2	Parámetros físico-químicos del agua	35
6.2.1	Oxígeno disuelto	35
6.2.2	Temperatura	36
6.2.3	Potencial de hidrógeno	36
6.2.4	Conductividad eléctrica	37
6.2.5	Sólidos disueltos totales	38
6.2.6	Ortofosfatos	38
6.2.7	Nitratos	40
6.2.8	Nitritos	41
6.3	Análisis de similitud	42
6.4	Análisis de correspondencia canónica (ACC)	49
7.	CONCLUSIONES	53
8.	RECOMENDACIONES	54
9.	BIBLIOGRAFIA	55
10.	ANEXO	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1	Organismos representativos de la fauna bentónica en un ecosistema de río	7
Figura No. 2	Ubicación de la cuenca del río Polochic	16
Figura No. 3	Sitios de muestreo	18
Figura No. 4	La Tinta, Alta Verapaz	19
Figura No. 5	Telemán, Alta Verapaz	19
Figura No. 6	Panzós, Alta Verapaz	20
Figura No. 7	Uso de la red en D en la toma de muestras en el río Polochic	21
Figura No. 8	Almacenamiento de muestras en frascos plásticos	21
Figura No. 9	Equipo utilizado para la limpieza de macroinvertebrados	22
Figura No. 10	Identificación de macroinvertebrados acuáticos	22
Figura No. 11	Toma de parámetros físicos –químicos <i>in situ</i>	23
Figura No. 12	Análisis de muestras de agua en el Laboratorio de AMASURLI	24
Figura No. 13	Porcentaje de abundancia de los principales ordenes de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca media del río Polochic	28
Figura No. 14	Abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo en época seca, de transición y lluviosa en la cuenca media del río Polochic	29
Figura No. 15	Diversidad de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo en los meses de abril, junio y agosto	30
Figura No. 16	Grupos principales de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreos durante el mes de abril	33

Figura No. 17	Grupos principales de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreos durante el mes de junio	34
Figura No. 18	Grupos principales de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreos durante el mes de agosto	34
Figura No. 19	Perfil del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en los sitios de muestreo	35
Figura No. 20	Temperatura en los sitios de muestreo	36
Figura No. 21	pH en los sitios de muestreo	37
Figura No. 22	Conductividad eléctrica en los sitios de muestreo	37
Figura No. 23	Sólidos disueltos totales en los sitios de muestreo	38
Figura No. 24	Fosfatos en los sitios de muestreo	39
Figura No. 25	Nitratos en los sitios de muestreo	40
Figura No. 26	Nitritos en los sitios de muestreo	41
Figura No. 27	Similitud de los sitios muestreados respecto de los parámetros físico-químicos en el mes de abril	42
Figura No. 28	Similitud de los sitios muestreados respecto de los parámetros físico-químicos en el mes de junio	43
Figura No. 29	Similitud de los sitios muestreados respecto de los parámetros físico-químicos en el mes de agosto	44
Figura No. 30	Similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de familias de macroinvertebrados en el mes de abril	45
Figura No. 31	Similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de familias de macroinvertebrados en el mes de junio	46
Figura No. 32	Similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de familias de macroinvertebrados en el mes de agosto	47

Figura No. 33	Sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables físicoquímicas	51
Figura No. 34	Sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables físicoquímicos sin la presencia de Chironomidos	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1	Variables evaluadas en cada sitio de muestreo en la cuenca media del río Polochic.	17
Cuadro No. 2	Coordenadas de sitios de muestreos	18
Cuadro No. 3	Muestras obtenidas por muestreo en la cuenca media del río Polochic	20
Cuadro No. 4	Macroinvertebrados acuáticos en la cuenca media del río Polochic	26
Cuadro No. 5	Abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo	32
Cuadro No. 6	Correlación de parámetros físico-químicos dentro de los sitios muestreados en cuenca media del río Polochic	48

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala posee gran riqueza de recursos hídricos, conformada principalmente por 4 lagos, siendo el lago de Izabal el más extenso. La cuenca del lago de Izabal se encuentra ubicada en el departamento de Izabal, e incluye desde Río Dulce hasta el lago de Izabal y sus vertientes. Su principal fuente de agua es el río Polochic (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales - MARN-, 2012).

En la región del nororiente de Guatemala se encuentra ubicada la desembocadura del río Polochic, un sistema hídrico que desde su nacimiento en las montañas de Alta Verapaz hace su recorrido hasta alcanzar las zonas bajas de Izabal desembocando en el lago del mismo nombre. Allí se encuentra el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, que es un humedal interior ubicado en el municipio del Estor, Departamento de Izabal, en el Nororiente de Guatemala, y considerado un sitio Ramsar de gran importancia para la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad (Fundación Defensores de la Naturaleza -FDN-, 2006).

El área de estudio comprendió la cuenca media del río Polochic la cual se ubica dentro de los municipios de la Tinta, Telemán y Panzós del departamento de Alta Verapaz, el río continúa su cauce hacia el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic (RVSBP) el cual depende directamente de las aguas provenientes del río Polochic y del agua presente en el lago de Izabal, estos sitios son considerados como áreas de crianzas para muchas especies acuáticas, así como para una gran diversidad de flora acuática, además del valor paisajístico que posee. El río Polochic descarga aproximadamente el 70% del agua que entra al lago según (Pacas, 2002).

El principal objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del agua de la cuenca media del río Polochic mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la salud del ecosistema, comparado con las variables fisicoquímicas del medio.

2. ANTECEDENTES

La hidrología del RVSBP se determinó por el río Polochic principalmente, el cual recibe las aguas del río Cahabón. Después de la unión de los ríos Polochic y Cahabón, el caudal llega hasta $350\text{m}^3/\text{s}$. dado que el río tiene un cauce más elevado que el nivel del terreno adyacente, los desbordes son inevitables por lo que gran parte de las aguas corren paralelas al río inundando los terrenos del RVSBP; los cuales permanecen así gran parte del año, provocándose una escorrentía de tipo posicional, es decir meándrica (Dix, 1999).

Se realizó una evaluación del impacto de la cuenca del Río Dulce y Polochic sobre la integridad biológica del lago de Izabal, estudiando la composición y los componentes hidrológicos para calcular la contribución de las cuencas de ambos ríos, mediante un análisis de sedimento y nutrientes, además una evaluación de las poblaciones de plancton y coliformes como indicadores de eutrofización. La información recolectada sirvió para una propuesta de manejo integrado de la cuenca. Los resultados demuestran gran cantidad de coliformes y sedimentos en los ríos (Dix, 1999).

Mediante el estudio del impacto de la cuenca del río Polochic sobre la integridad biológica del lago de Izabal, se concluyó que el lago se encuentra en un estado de eutrofización, debido a los altos niveles de nutrientes y las densidades de fitoplancton encontrados durante el estudio; siendo éste un sistema que puede ser impactado fácilmente, debido a sus características morfométricas (Dix, 1999).

En el estudio limnológico de la zona occidental del lago de Izabal, río Polochic y sus afluentes en el 2002, se determinó que el humedal Bocas del Polochic tiene gran importancia para el mantenimiento del lago de Izabal, funcionando como un filtro biológico, ya que lo protege de las descargas de nutrientes y sedimentos provenientes de la cuenca del río Polochic, y aportando un 70% del agua que ingresa al lago (Pacas, 2002).

A través del Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico -FODECYT-, se realizó una evaluación de la contaminación físico-química y bacteriológica en el agua de río Dulce y Lago de Izabal, durante un periodo de 4 meses de octubre 2006 a enero 2007, se establecieron 26 puntos localizados en la desembocadura del río Polochic, el Lago de Izabal y sus afluentes, Río Dulce y ríos y lagunas del Biotopo Chocón Machacas, encontrando altos niveles de nitrógeno, nitratos y fósforo, así como la presencia de organismos de fitoplancton que son considerados como indicadores de cuerpos de agua eutrofizados. La calidad del agua se determinó por medio del índice de calidad del agua ICA, el cual reveló que río Bonito, Livingston, salida del Golfete, CGN, Bocas del Polochic, río Oscuro y Aldea Izabal, son los sitios más contaminados (Oliva, 2003).

En el estudio realizado en los cuerpos de agua de la región maya Tikal-Yaxhá con importancia en la vegetación acuática asociada, su conservación y el valor desde el uso humano, se determinó la composición y estructura de comunidades de macroinvertebrados bentónicos y su relación con factores ambientales en condiciones naturales y alteradas, en cuatro sitios de referencia y ocho sitios de perturbaciones antropogénicas, durante los meses de febrero y abril del 2011, se midieron las variables físicas y químicas del agua y la asociación entre los parámetros ambientales y los biológicos. Los resultados del estudio mostraron que la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados están influenciadas por perturbaciones antropogénicas y elevada cantidad de materia orgánica disuelta (Reyes, 2012).

Mediante un estudio para establecer la línea base de calidad de agua del Río Dulce, Livingston, Izabal, se describieron los principales problemas que afectan al mismo, entre los que se encuentra los de origen ambiental, social, educativo y económico. Dentro de los ambientales están principalmente la erosión de las orillas, el uso excesivo de agroquímicos, las descargas de aguas servidas y desechos sólidos de embarcaciones, comunidades, hoteles y viviendas aisladas, así como la contaminación por productos derivados del petróleo, la alta deforestación y reforestación con especies exóticas, la continua extracción del recurso agua para abastecer a las comunidades aledañas, y la falta de ejecución de un plan que permita la adecuada planificación de la cuenca (García, 2014).

En el estudio desarrollado en el lago de Atitlán se indica que este es afectado por la contaminación drenada a través de los ríos permanentes que forman parte de la cuenca, por lo que analizar la calidad de agua de los mismos es importante, para evaluar su impacto en el lago. Durante la investigación se evaluó la calidad de agua de los ríos Tzalá y Tzununá utilizando parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados bentónicos. Se realizó un muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados utilizando una red en “D” y se calculó el índice de calidad de agua (ICA) y el índice BMWP/Atitlán para establecer el nivel de contaminación en tres sitios de cada río durante la época seca y lluviosa del año 2013. Del trabajo se concluye que (1) el río Tzununá está menos impactado por actividades antropogénicas que el río Tzalá y (2) que existe un impacto por las lluvias en la calidad de agua de los ríos y en la destrucción de micro-hábitats para macroinvertebrados (Arriola, 2014).

En el estudio de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, Sololá, se realizó una descripción de los mismos en relación a su diversidad, abundancia y distribución en los meses de abril y julio del 2014, estableciendo mediante la prueba de permutaciones de Monte Carlo que la distribución de los organismos no se ve influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua ni por la composición granulométrica del sedimento, de igual manera no se encontró diferencia significativa en la diversidad y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados en relación a las estaciones del año. (Ortiz, 2015)

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades de los ríos

Los sistemas lóticos son aquellos cuerpos de aguas con corrientes, como lo son los ríos, riachuelos y quebradas. La fauna de macroinvertebrados en una corriente es muy diferente a la que se encuentra en zonas de rápidos, a la de remansos y a la de las orillas. Las corrientes poseen unas zonas de erosión en las cuales la velocidad del agua es lo suficientemente fuerte para arrastrar partículas en suspensión. Estas zonas se caracterizan por rápidos formados por rocas, piedras y arena. En estos lugares se encuentra, por lo regular, una fauna diversa, con adaptaciones estructurales como ventosas y ganchos para resistir la velocidad de la corriente (Roldán, y Ramírez, 2008).

En las corrientes también existen las zonas de deposición o acumulación en las cuales la velocidad del agua es muy lenta y los materiales que llevan en suspensión se precipitan fácilmente formando sustratos fangosos y arenosos. Por lo regular, en estas zonas la diversidad de especies es menor, sin embargo, las existentes pueden alcanzar elevados números de individuos (Roldán, y Ramírez, 2008).

3.2 Calidad del agua

Este término se refiere a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas; como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada y a la contaminación que contenga (Lemus, 2013).

El proceso de la valoración de la calidad de agua, corresponde a la evaluación de la naturaleza, química, física y biológica del agua, en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido, incluidos: consumo, recreación, irrigación y pesca; y particularmente, usos que puedan afectar la salud pública o la “salud” de los sistemas acuáticos (Lemus, 2013).

3.3 Biomonitoreos de calidad del agua

Se refiere a la técnica basada en indicadores biológicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en las corrientes de agua. Actualmente el uso de indicadores biológicos de la calidad ambiental ha mejorado, y algunos de los avances más significativos se tienen en el biomonitoreo de corrientes y ríos a través del conocimiento de diferentes grupos de macroinvertebrados, plantas y microorganismos cuyas poblaciones son sensibles a diferentes tipos de agentes químicos, biológicos y físicos. De esta manera la presencia, o ausencia de ciertas especies, así como la densidad de ciertos grupos funcionales, presentan unidades de medición sobre las condiciones cualitativas de una corriente de agua. De tal suerte, que una vez conocido y caracterizado un ecosistema fluvial, la presencia y proporción de determinados individuos o taxa, puede indicar de manera directa y precisa concentraciones específicas de alguna sustancia contaminante y su fuente probable (Sánchez, 1999).

3.4 Macroinvertebrados como bioindicadores

Son invertebrados aquellos organismos que se pueden ver a simple vista o bien que son retenidos por una red de malla de aproximadamente 125 μ m. Y se definen con base taxonómica. Este grupo tiene representantes en muchos filos de animales, entre ellos: Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. Sin embargo, hay que aclarar que varios miembros de estos filos son microscópicos por lo que se les considera parte de la meiofauna (microcrustáceos y micromoluscos, muchos anélidos y nemátodos, entre otros) (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010) (Figura No. 1).

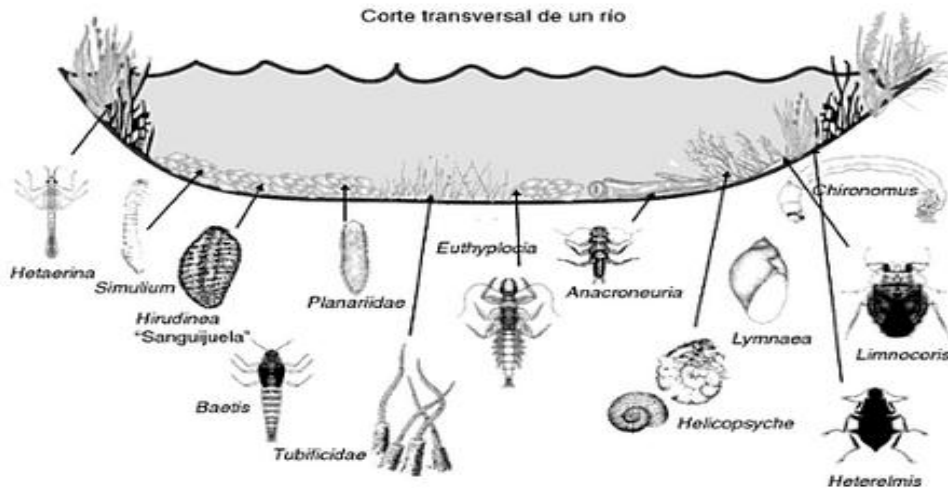


Figura No. 1 Organismos representativos de la fauna bentónica en un ecosistema de río (Roldán, y Ramírez, 2008)

Los grupos de macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en sus ciclos de vida. Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

Los macroinvertebrados dulceacuícolas juegan papeles importantes dentro de todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos. Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material autóctono producido por las algas o bien material alóctono que entra al sistema acuático desde afuera. Los macroinvertebrados controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

El uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua empezó hace más de 100 años en Europa. Hoy en día, constituye una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo, por lo que es ampliamente utilizado en todo el mundo (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

A diferencia de los análisis físico-químicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes.

Sin embargo, es importante utilizar ambos métodos, el físico-químico y el biológico, en forma integral, lo cual ya se contempla en la investigación (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

3.4.1 Principales grupos de macroinvertebrados

Filo Arthropoda: Subfilo Hexapoda

Es un grupo principalmente terrestre; menos del 5% de todas las especies se pueden considerar acuáticas. En contraste con los crustáceos y moluscos, en el filo Hexapoda hay cuatro clases de insectos: Collembola, Protura, Diplura e Insecta, de las cuales solamente la primera y última contienen organismos acuáticos (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Odonata

Del orden Odonata todas las familias son acuáticas en sus etapas inmaduras. Las ninfas son depredadores y se reconocen por tener un labio altamente modificado para atrapar presas, el cual es fácil de observar debajo de la cabeza. La mayoría vive sobre el fondo o la vegetación sumergida (Ramírez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Diptera

Este orden contiene más especies dulceacuícolas que cualquier otro grupo de macroinvertebrados. Los dípteros acuáticos habitan en más tipos de agua que cualquier otro grupo de insectos, su biología es sumamente diversa y las larvas son muy variables en su morfología, aunque nunca poseen patas verdaderas (articuladas) en el tórax (Hanson, Springer, y Ramírez, 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, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Ephemeroptera

Este orden Ephemeroptera es muy antiguo, considerado fósil de los periodos pérmico y carbonífero. Esos insectos son un orden exclusivamente acuático y relativamente primitivo, lo que refleja la presencia de colas, un gran número de venas intercalares y venas transversales en las alas y la incapacidad para plegarlas, su característica particular que los diferencia de los demás ordenes, es que presentan un estadio terrestre, el cuerpo es liso y brillante y poseen dos o tres largos filamentos caudales (Gutierrez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Coleoptera

Los coleópteros son insectos holometábolos, con un desarrollo en cuatro fases, huevo, larva, pupa y adulto. Los coleópteros son escarabajos acuáticos y depende de las familias. Tienen una amplia diversidad de adaptaciones para la vida en el agua, presentes tanto en larva como en adultos, los escarabajos acuáticos son considerados como buenos indicadores de la calidad ecológica del agua y su entorno (Gutierrez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Hemiptera

Los hemípteros que se relacionan con el agua pueden ser semiacuáticos, viviendo sobre la superficie del agua, en piedras, hojarasca o en las orillas de los cuerpos de agua, o bien habitar dentro del agua. Los hemípteros son insectos comunes en los cuerpos de agua y son numerosos en las zonas tropicales. Se encuentran en una amplia variedad de ambientes naturales, tanto lénticos como lóticos. Son organismos depredadores y carroñeros que se alimentan de cualquier presa que puedan dominar, desde microcrustáceos e insectos, hasta pequeños peces y renacuajos, su presencia en el agua los considera como indicadores potenciales de calidad biológica de hábitats acuáticos (Gutierrez, 2010).

Filo Arthropoda: Subfilo Crustacea

Los crustáceos son principalmente marinos (más del 90% de las especies), pero existen varias especies dulceacuícolas y muy pocas terrestres; de las seis clases, cuatro se presentan en agua dulce (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Malacostraca: Orden Decapoda

Casi 10% de las especies de decápodos viven en agua dulce e incluyen camarones. Entre los camarones, los Atyidae tienen los primeros dos pares de patas modificadas para filtrar alimento del medio. Mientras que los Palaemonidae son más variables en su comportamiento alimenticio, Muchas especies de camarones tienen una etapa larval acortada que les permite completar su ciclo de vida en agua dulce, los cangrejos dulceacuícolas verdaderos (Pseudohelphusidae, y Trichodactylidae) tienen huevos, grandes que eclosionan directamente en cangrejos pequeños (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

Filo Mollusca

Este filo es muy diverso, de las siete clases cinco son exclusivamente marinas; sólo los caracoles y las almejas incluyen especies dulceacuícolas. Una de las características de los moluscos es una concha de carbonato de calcio, por lo que requieren aguas relativamente alcalinas (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Gastropoda

La mayoría de los caracoles son marinos, pero hay varias especies terrestres y aproximadamente 5% viven en agua dulce, Muchos son raspadores que se alimentan de algas unicelulares (perifiton) y/o bacterias adheridas a los sustratos, pero algunos (Ampulariidae) son macroherbívoros. Varían en tamaño desde 2 hasta 70mm y existen dos grupos principales: los prosobranquios (Neritomorpha y Caenogastropoda) y los caracoles pulmonados (Heterobranchia) (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Bivalvia

Las almejas son principalmente marinas, el 16% de las especies habitan en agua dulce. Éstas varían en tamaño de 2 a 180mm y su color puede ser pardo claro, verde, cobrizo o negro. Viven enterrados en el sustrato o fijados a la vegetación acuática. Las almejas utilizan sus branquias no solamente para su respiración, sino también para filtrar fitoplancton y detritus del agua; son más abundantes en aguas no contaminadas.

En contraste con las especies marinas, la mayoría de las almejas dulceacuícolas han eliminado una etapa planctónica de su ciclo de vida, que sería especialmente problemático en aguas con corriente (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

Filo Annelida: Clase Clitellata

La clasificación tradicional de los anélidos los agrupa en tres grupos (poliquetos, oligoquetos y sanguijuelas). Los oligoquetos representan un grupo parafilético, aunque junto con las sanguijuelas forman un grupo monofilético, la clase Clitellata, que incluye la gran mayoría de los anélidos dulceacuícolas y terrestres. Los poliquetos, otro grupo parafilético, son principalmente marinos aunque incluyen algunas pocas especies dulceacuícolas. Las especies dulceacuícolas generalmente son pequeñas (1mm hasta algunos centímetros) y detritívoras en los sedimentos del fondo. Aproximadamente un 70% de las especies de sanguijuelas viven en agua dulce y las demás son marinas o terrestres son ectoparásitas o depredadoras de otros animales (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

Filo Platyhelminthes: Clase Turbellaria

Los gusanos planos tradicionalmente se han clasificado en cuatro grupos: los turbelarios, los tremátodos, los monogeneos y las solitarias. Los últimos tres, ahora unidos en el grupo Neodermata, son parásitos de otros animales, incluso algunos de agua dulce. Los turbelarios (un grupo parafilético) son principalmente depredadores, aunque también se alimentan de animales muertos y de algas. Viven en el fondo del agua, debajo de las piedras, hojas, en los espacios intersticiales, etc. (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

3.5 Parámetros físicos

3.5.1 Temperatura

Es uno de los factores ambientales más importantes que influyen en la proliferación y supervivencia de los microorganismos. A medida que la temperatura aumenta, se incrementa también sus reacciones enzimáticas y las tasas de reproducción, cuando las temperaturas bajan se limita el crecimiento hasta su detención (Roldán y Ramírez, 2008).

3.5.2 Conductividad eléctrica

Mide la cantidad total de iones, por lo tanto se correlaciona con la salinidad. La medida de conductividad de un cuerpo de agua es uno de los parámetros más importantes en Limnología. A través de ella se puede conocer mucho acerca del metabolismo de un ecosistema acuático. Además, alta diversidad de especies corresponden a menudo a una baja conductividad y viceversa (Roldán y Ramírez, 2008).

3.5.3 Sólidos disueltos totales

La concentración total de sustancias o minerales disueltos (STD), en las aguas naturales es un parámetro útil para conocer las relaciones edáficas y la productividad en un cuerpo de agua. La cantidad de STD en partes por millón varía grandemente. Aguas muy oligotróficas pueden contener valores > 10 ppm o mg/L. La mayoría de ríos neotropicales presentan rangos entre 10 y 200 ppm (Roldán y Ramírez, 2008).

3.5.4 Salinidad

Es una propiedad importante de cuerpos de agua naturales; este parámetro se concibió como una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. Se puede determinar la salinidad de un cuerpo de agua en base a: conductividad, densidad, índice de refracción ó velocidad del sonido en agua (Webber y Thurman , 1991).

3.5.5 Oxígeno disuelto OD

Es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis. La difusión del oxígeno en un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por los vientos.

La solubilidad del oxígeno en el agua aumenta a medida que disminuye la temperatura (Roldán y Ramírez, 2008).

3.5.6 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida de la concentración de iones (H^+) en el agua. Los valores de pH en aguas naturales neotropicales varían entre 6.0 y 9.0. (Roldán y Ramírez, 2008).

3.5.7 Transparencia

Es una medida relativa de la claridad de un sistema acuático o de la profundidad a la cual es posible ver dentro del agua. La transparencia del agua está relacionada con los sólidos en suspensión, los sólidos disueltos y el fitoplancton (Owent, 1979).

3.6 Parámetros químicos

3.6.1 Amonio

El ion amonio (NH_4^{+1}), es muy importante para los productores primarios, ya que puede ser utilizado como fuente de nitrógeno durante la síntesis de proteínas. Su concentración en medios aeróbicos es muy baja; debido a ello los nitratos se convierten allí en la principal fuente de nitrógeno para el fitoplancton. Concentraciones superiores a los 0.25 mg/L de amonio, afectan el crecimiento de los peces y superiores a los 0.5 mg/L se consideran letales, los nitratos constituyen el último estado de oxidación del nitrógeno y es la forma como la utilizan directamente las plantas y las algas para sintetizar las proteínas (Roldán y Ramírez,

3.6.2 Nitritos y nitratos

Los nitritos y nitratos son compuestos iónicos que se encuentran en la naturaleza, formando parte del ciclo del nitrógeno.

El nitrato (NO_3^-) es la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno, y a pesar de su baja reactividad química puede ser reducido por acción microbológica. El nitrito (NO_2^-), es

oxidado con facilidad por procesos químicos o biológicos a nitrato, o bien reducido originando diversos compuestos (Alamueda y Lizano, s.f.)

3.6.3 Ortofosfatos

Desde el punto de vista limnológico, la forma más importante de fósforo en el agua, es la de ortofosfatos pues es la manera como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo. La principal fuente de fósforo es arrastrada por las lluvias y la erosión; la cantidad suministrada varía con la naturaleza geológica del terreno, con el estado de conservación de las cuencas y el grado de contaminación de origen doméstico, agrícola e industrial de la región (Roldán y Ramírez, 2008).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Determinar la calidad del agua de la cuenca media del río Polochic en base a bioindicadores y parámetros físico-químicos.

4.2 Objetivos específicos

- Establecer la diversidad y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca media del río Polochic.
- Evaluar los parámetros físicos químicos de la cuenca media del río Polochic.
- Relacionar la presencia de los macroinvertebrados acuáticos con los parámetros fisicoquímicos de la cuenca media del río Polochic.

5. METODOLOGIA

5.1 Ubicación geográfica

La cuenca media del río Polochic se encuentra ubicada en el departamento de Alta Verapaz, y continua su recorrido dentro del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic –RVSBP-. El área de estudio abarcó el departamento de Alta Verapaz, en los municipios de la Tinta, Telemán y Panzós. Esta región presenta un clima tropical (Figura No. 2).

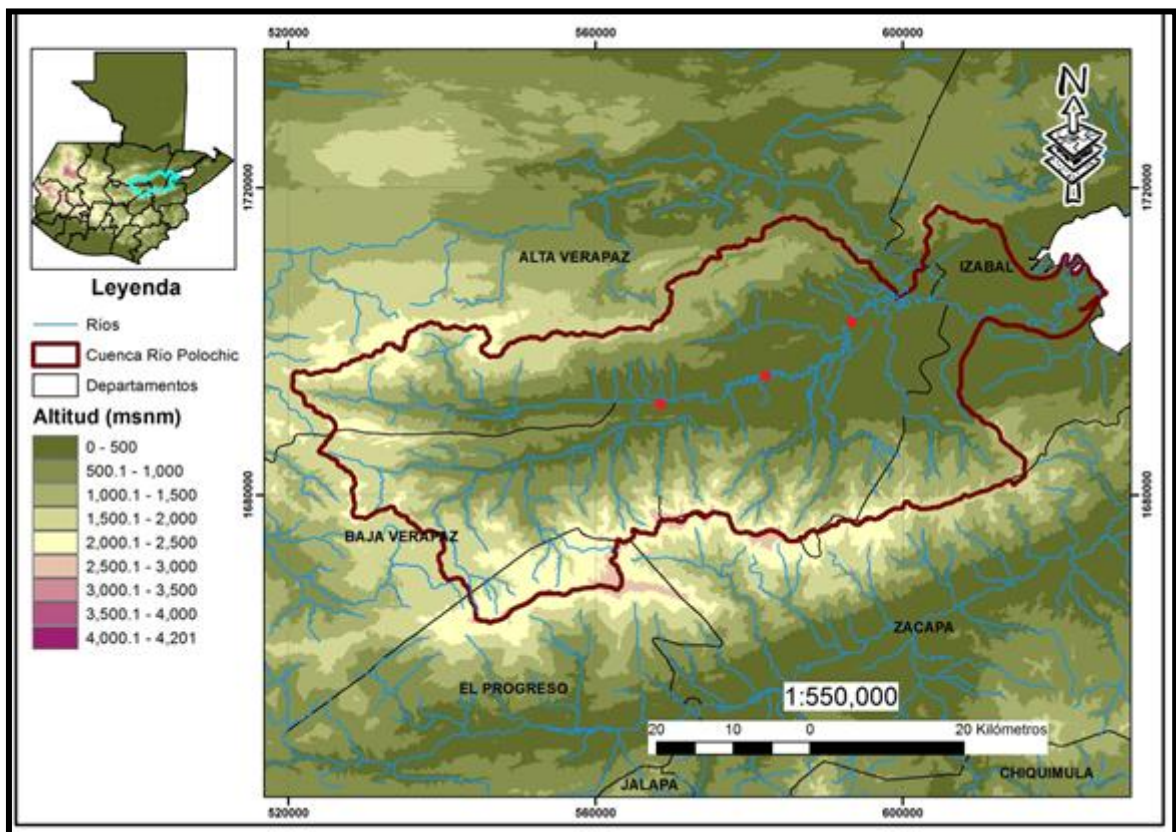


Figura No. 2 Ubicación de la cuenca del río Polochic (Trabajo de campo, 2015)

5.2 Variables

Las variables evaluadas en este estudio incluyeron los parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos (Cuadro No.1).

Cuadro No. 1 Variables evaluadas en cada sitio de muestreo en la cuenca media del río Polochic.

Variable	Indicador
Oxígeno disuelto(OD)	mg/L y % de saturación
Temperatura	°C
Conductividad	μS/cm
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/L
Ortofosfatos(PO_4^{-3})	mg/L
Fósforo total (P)	mg/L
Nitritos (NO_2^{-1})	mg/L
Nitratos (NO_3^{-1})	mg/L
Amonio (NH_4^{+1})	mg/L
Macroinvertebrados acuáticos	Familia

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

5.3 Muestreo

Se realizaron tres muestreos en la cuenca media del río Polochic, abarcando el mes de abril (seca), mes de junio (transición) y mes de agosto (lluvioso), en 3 puntos de muestreo, los cuales fueron: la Tinta, Telemán y Panzós.

La selección de los 3 sitios muestreados se determinó mediante los puntos monitoreados por AMASURLI, desde el 2002, los cuales se basaron en actividades que se realizan en el área, dichos puntos fueron seleccionados para analizar el comportamiento de los parámetros físico-químicos y la presencia de macroinvertebrados en el mismo.

5.3.1 Descripción de los sitios de muestreo

Para la realización de la investigación se seleccionaron tres sitios de muestreo, la Tinta, Telemán y Panzós (Figura No 3) (Cuadro No.2).

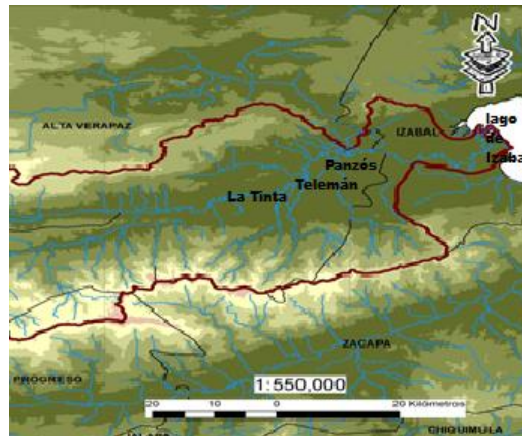


Figura No. 3 Sitios de muestreo (Trabajo de campo 2015)

Cuadro No. 2 Coordenadas de sitios de muestreos

Sitio de muestreo	Longitud	Latitud
Tinta	16P 184337	1693819
Telemán	16P 211908	1693820
Panzós	16P 217089	1703628

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

- La Tinta

La Tinta es el primer sitio muestreado de la cuenca media correspondiente a la parte alta del río, es un área no navegable, la profundidad máxima es de 80 cm, predominan las rocas pérmicas, el lado norte de la Sierra Las Minas consiste mayormente de rocas del período carbonífero-pérmico. La Tinta se reconoce por sus grandes extensiones de bosque de coníferas que se encuentra alrededor del sitio (Figura No. 4).



Figura No. 4 La Tinta, Alta Verapaz (Trabajo de campo, 2015)

- Telemán

Kilómetros antes del sitio Telemán desembocan sus aguas el río Matanzas, aumentando el caudal del río. Dicho sitio se considera como una zona de inundación, cultivos perennes como el arroz y la caña se encuentra en las cercanías de este sitio y en el mismo se descargan las aguas residuales del pueblo aladeño, y a esto se le puede atribuir la contaminación observada en el Polochic (Figura No. 5).



Figura No. 5 Telemán, Alta Verapaz (Trabajo de campo, 2015)

- Panzós

Desde el sitio de Panzós hasta la desembocadura al lago de Izabal, el río Polochic ofrece facilidades de navegación. A este sitio desembocan sus aguas los ríos Boca Nueva y Tinajas llevando a su paso las aguas residuales de poblaciones aledañas a los mismos (Figura No. 6).



Figura No. 6 Panzós, Alta Verapaz (Trabajo de campo, 2015)

5.4 Selección de la muestra

En cada sitio se tomaron 3 muestras de macroinvertebrados y 3 para los parámetros físico-químicos. En total se obtuvieron 9 muestras por cada componente (Cuadro No. 3).

Cuadro No. 3 Muestras obtenidas por muestreo en la cuenca media del río Polochic

Tipo de muestra	Cantidad de muestreo	Total de muestras
Macroinvertebrados acuáticos	3	9
Parámetros físico-químicos	3	9
Total		18 muestras

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

5.5 Procedimiento

5.5.1 Recolecta de muestras de macroinvertebrados

Para la recolecta de macroinvertebrados, se utilizó la Red “D”, este método es muy utilizado en cuerpos de agua con poca profundidad y de fondo rocoso (Springer, 2010), se realizó un recorrido donde se observaron los posibles hábitats, y se recolectó la mayor biodiversidad basándose en la metodología estandarizada de muestreo multihabitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red en D en ríos del Salvador (Sermeño, et al, 2010) (Figura No. 7).



Figura No. 7 Uso de la red en D en la toma de muestras en el río Polochic
(Trabajo de campo, 2015).

Una vez obtenidas las muestras, se procedió a colocarlas en botes plásticos previamente identificados y con alcohol etílico al 90%. La cantidad de alcohol añadida se determinó en base al tamaño de la muestra (Figura No. 8).



Figura No. 8 Almacenamiento de muestras en frascos plásticos
(Trabajo de campo, 2015)

Una vez obtenida la muestra se procedió a limpiarla, para ello se contó con bandejas plásticas, pinzas y tamices, se extrajo sedimento y hojarasca con el fin de dejar solo los organismos, los

cuales se colocaron en frascos plásticos más pequeños, con alcohol etílico al 70% y glicerina 10% (Figura No. 9).



Figura No. 9 Equipo utilizado para la limpieza de macroinvertebrados (Trabajo de campo, 2015).

5.5.2 Identificación de macroinvertebrados

Las muestras ya limpias fueron llevadas al laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográfica del CEMA, donde se realizó la identificación de los macroinvertebrados, mediante un equipo óptico (estereoscopio) y pinzas metálicas para la manipulación de los organismos. La identificación de los macroinvertebrados se realizó a nivel de familia, por medio de claves taxonómicas (Menjivar Rosa, 2010; Merritt, Cummins, y Berg, 2008; Ramirez, 2010; Springer, 2010). Posteriormente los organismos fueron almacenados en viales de vidrio con alcohol etílico al 70% y glicerina pura (Figura No. 10).



Figura No. 10 Identificación de macroinvertebrados acuáticos (Trabajo de campo, 2015)

5.5.3 Toma de muestras de agua y análisis de parámetros fisicoquímicos

Para la toma de muestras y datos en campo se contó con el apoyo de personal del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- y técnicos de la Fundación Defensores de la Naturaleza.

Para la realización de los muestreos en los diferentes sitios de la cuenca media del río Polochic, se utilizó equipo de campo como: hielera, recipientes plásticos, sonda multiparamétrica y una embarcación. Todo el equipo fue proporcionado por la Fundación Defensores de la Naturaleza.

Con la sonda multiparamétrica modelo WTW 350i se midieron los parámetros fisicoquímicos *In situ* como: oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos disueltos totales y conductividad. Las muestras de agua para análisis químicos fueron colocadas en recipientes plásticos de 500 mL y trasladadas en hielera hasta las instalaciones del laboratorio de AMASURLI (Figura No. 11).



Figura No. 11 Toma de parámetros físicos –químicos *in si tu*
(Trabajo de campo, 2015)

Una vez obtenidas las muestras en campo se procedió a realizar los análisis de las mismas en el laboratorio de calidad del agua de AMASURLI. La determinación de nutrientes (ortofosfatos, amonio, nitritos y nitratos), se realizó con el espectrofotómetro NOVA 60 (Figura No. 12).



Figura No. 12 Análisis de muestras de agua en el Laboratorio de AMASURLI
(Trabajo de campo, 2015)

5.6 Análisis de la información

5.6.1 Macroinvertebrados

Se utilizó el 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 correlacionó la diversidad y abundancia de las familias de macroinvertebrados y los valores de los parámetros fisicoquímicos (Ortiz, 2015).

5.6.2 Parámetros físico-químicos

Para el análisis de las variables físico-químicos se utilizaron los programas libres, Past 3 y Microsoft Excel 2010 para hacer la evaluación estadística correspondiente, permitiendo realizar las relaciones, comparaciones y descripciones de los sitios (García, 2015).

Para definir si hay similitud o no entre los sitios estudiados, se realizó un análisis multivariado de algoritmos de vínculo con correlación de coeficiente de distancia mediante la aplicación del software Past 3. En este método jerárquico se formaron clusters mayores paso a paso de forma secuencial, los grupos formados se representaron en un dendrograma que parte de una base común y se bifurcará hasta la separación final de los grupos clasificados por distancia (García, 2015).

Dicho análisis de similitud se basó en la siguiente ecuación de similitud.

$$S_{kl} = 1 - \frac{d_{kl}}{d_{max}}$$

Donde d_{kl} representa la distancia entre los objetos k y l, y d_{max} representa la distancia que existe entre los dos objetos más alejados de la nube de puntos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Macroinvertebrados acuáticos de la cuenca media del río Polochic

6.1.1 Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos

En la cuenca media del río Polochic se clasificaron 26 familias de macroinvertebrados acuáticos, correspondientes a 10 órdenes y 3 clases. Se recolectaron 623 organismos, 35 durante la época seca (abril), 235 durante la época de transición (junio) y 353 en la época lluviosa (agosto) (Cuadro No. 4).

Cuadro No. 4 Macroinvertebrados acuáticos en la cuenca media del río Polochic

Clase	Orden	Familia	Individuos
Insecta	8	20	518
Malacostraca	1	2	27
Gastropoda	1	4	78

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

Durante el mes de abril se registraron 7 familias, en junio 17 y agosto 25 familias. La Tinta fue el sitio que presentó mayor abundancia de macroinvertebrados en abril y agosto, Telemán presentó mayor cantidad de organismos en junio.

Las condiciones del ecosistema en el sitio la Tinta son mejores comparado con Telemán y Panzós, las familias encontradas fueron del orden Ephemeroptera, las cuales suelen habitar en lugares de aguas muy limpias, bien oxigenadas y de fondo rocoso, este orden es muy sensible a cargas orgánicas residuales, de acuerdo a lo que indica la bibliografía (Flowers y De la Rosa, 2010), por lo que son considerados como buenos indicadores de la calidad del agua. Otros ordenes encontrados fueron, Coleoptera, Plecoptera y Trichoptera que suelen habitar en aguas bien oxigenadas y son considerados buenos indicadores de la calidad ecológica del agua y su entorno según la bibliografía (Gutierrez, y Springer, 2010).

En Telemán aunque en menor cantidad se encontraron familias correspondientes a los órdenes Coleoptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Hemiptera, como del orden Odonata los cuales son organismos que habitan en diferentes hábitats, pozos, pantanos, márgenes de lagos, corrientes lentas o en lecho de ríos, donde generalmente existe abundante vegetación ya sea sumergida o emergente, suelen encontrarse en aguas limpias o ligeramente contaminadas y llegan a tolerar ambientes altamente contaminados. Otro orden son los Dípteros que habitan en aguas lólicas o lénticas, algunas larvas habitan en aguas limpias o ligeramente contaminadas los que corresponden a la familia Tipulidae, de acuerdo a lo mencionado en la bibliografía (Menjívar, y Ramirez, 2010).

En el sitio de Panzós se encontró en mayor abundancia la familia Chironomidae correspondiente al orden Diptera, esta familia se caracteriza por habitar sistemas lénticos o lólicos, en aguas muy contaminadas y pobres en oxígeno según lo indica la bibliografía (Springer, 2010). Además de este orden se encontraron los Odonatos y Trichopteros ya descritos en los puntos anteriores.

Estudios de medios loticos demuestran que a mayor perturbación las densidades de las poblaciones tienden a disminuir (Molina et al., 2008), sin embargo en el río Polochic este año no fue marcada la época lluviosa, durante los meses de muestreo de abril, junio y agosto, las condiciones climáticas fueron muy parecidas a lo largo del estudio.

Para el mes de junio, se observó un leve incremento de individuos encontrados en los sitios muestreados. En agosto se observa que aumentó el número de familias.

La clase Insecta tuvo la mayor representación con 20 familias y el mayor número de organismos. Compuesta por los órdenes Ephemeroptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera, Odonata, Hemiptera, Plecoptera y Diptera. Las familias del orden Odonata con mayor representatividad fueron Leptohyphidae y Elmidae con 25% y 22% respectivamente. Se considera que la clase Insecta es una de las clases de mayor importancia en la fauna macrobéntica de acuerdo a estudios limnológicos (Roldan, 1999) (Figura No. 13).

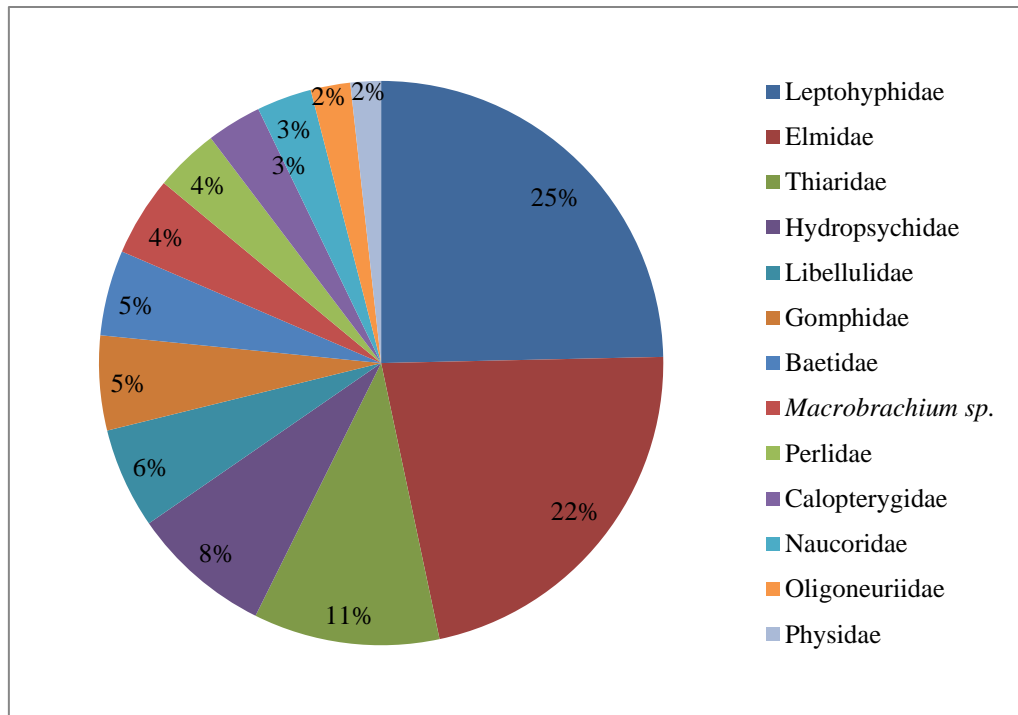


Figura No. 13 Porcentaje de abundancia de los principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca media del río Polochic (Trabajo de campo, 2015)

La abundancia de macroinvertebrados acuáticos presentó variaciones a lo largo de las épocas de muestreo, siendo el mes de agosto en el cual se recolectó el mayor número de organismos, específicamente en el sitio la Tinta.

En el mes de abril el grupo más abundante fue los gastropodos de la familia Thiaridae y las ninfas de la familia Gomphidae con 12 y 6 individuos respectivamente. En junio se reportaron como más abundantes Thiaridae e Hydropsychidae con 34 y 27 organismos respectivamente. En el mes de agosto se reportó que la familia Leptohyphidae fue la más abundante con 123 individuos (Figura No.14).

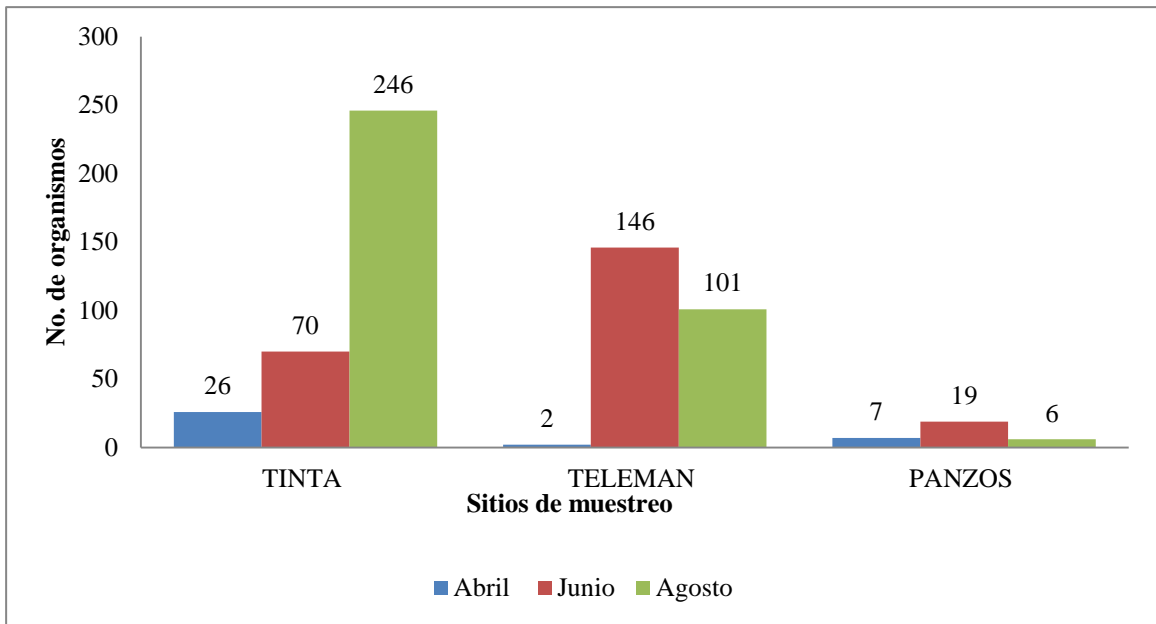


Figura No. 14 Abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo en época seca, de transición y lluviosa en la cuenca media del río Polochic (Trabajo de campo, 2015)

Un evento de perturbación predecible influye en la abundancia de las familias encontradas en las diferentes épocas de muestreo. Se pudo observar en la parte alta hacia la parte baja de la cuenca media una disminución de macroinvertebrados respecto al número de familias, esto puede deberse a las condiciones ambientales presentes en los sitios conforme desciende la cuenca.

Existe una diferencia notable entre muestreos (época seca, de transición y lluviosa) en cuanto a diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos (Figura No.15).

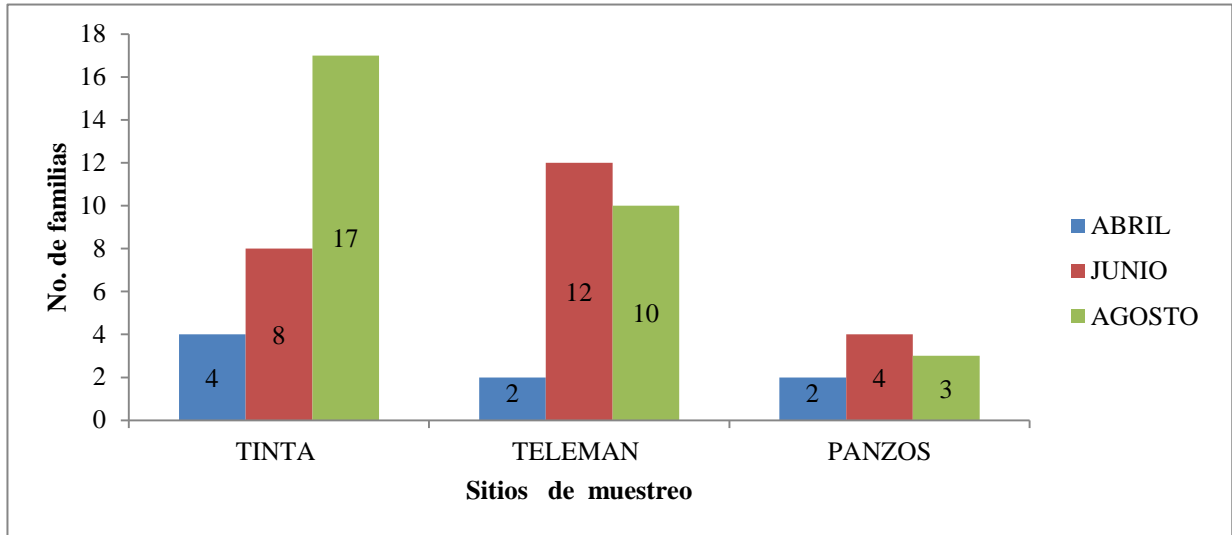


Figura No. 15 Diversidad de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo en mes de abril, junio y agosto (Trabajo de campo, 2015)

Durante el estudio de la cuenca media del río Polochic se encontraron un total de 26 familias, las cuales se repiten en los sitios y en los meses de estudios, en el mes de abril se encontraron 8 familias, 24 en el mes de junio y 30 en el mes de agosto, cuyo número es un poco mayor frente a los estudios en los ríos de regiones neo tropicales (Roldan, 1999).

A lo cual se le atribuye que los ríos son cuerpos de agua con riqueza de macroinvertebrados. La Tinta presenta buenas condiciones ambientales, en sus alrededores no se observan viviendas ni cultivos, caso contrario al sitio Telemán y Panzós los cuales presentan malas condiciones observando a sus alrededores cultivos de cañas de azúcar, palma africana, hule y algunas viviendas, lo cual produce un efecto negativo en esta parte de la cuenca en cuanto a la diversidad y número de organismos encontrados durante la investigación.

Se debe destacar que el presente estudio es una línea base de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca media del río Polochic, así como un primer listado taxonómico para dicho cuerpo de agua. Se debe de considerar el esfuerzo y el método de muestreo los cuales pueden tener un efecto significativo en la diversidad total del río.

La clase con mayor abundancia presente en los tres sitios de muestreos fue Insecta (83%), en menor abundancia se encontraron Gastropoda (13%) y Malacostraca (4%). Las familias más abundantes fueron Elmidae con 187 individuos, Leptohyphidae 159 y Thiaridae con 110 individuos. Las que representaron menor abundancia fueron las familias Aeshnidae, Coenagrionidae, Gerridae y Pachychilidae, con 2 organismos cada uno.

Las familias de mayor presencia en los meses de estudio fueron Gomphidae, Calopterygidae, Hydropsychidae y *Macrobrachium* sp. Para la Tinta se encontró un total de 342 individuos, Telemán 249 individuos y para Panzós se reportaron 32 individuos únicamente.

Las familias más abundantes fueron Leptohyphidae con 141 organismos encontrado en todo el estudio, correspondiente al orden Ephemeroptera y la familia Elmidae con 126 organismos correspondientes al orden Coleoptera. (Cuadro No. 5) (Anexo No. 1).

Cuadro No. 5 Abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo

TAXA	TINTA	TELEMÁN	PÁNZOS	TOTAL
INSECTA				
Odonata				
Anisoptera				
Gomphidae	8	16	7	31
Libellulidae	12	21		33
Aeshnidae		2		2
Zygoptera				
Calopterygidae	6	9	3	18
Coenagrionidae	2			2
Hemiptera				
Naucoridae	11	7		18
Belostomatidae	1	1		2
Gerridae	2			2
Megaloptera				
Corydalidae	8			8
Coleoptera				
Elmidae	43	83		126
Dryopidae	4			4
Plecoptera				
Perlidae	17	4		21
Ephemeroptera				
Oligoneuriidae		13		13
Leptohyphidae	113	28		141
Baetidae	4	24		28
Leptophlebiidae	6			6
Tricoptera				
Hydropsychidae	19	26	1	46
Ecnomidae	6			6
Diptera				
Chironomidae			7	7
Tipulidae	1	3		4
MALACOSTRACA				
Decapoda				
Palaemanidae				
<i>Macrobrachium</i> sp.	1	12	13	26
Pseudothelphusidae	1			1
GASTROPODA				
Mesogastropoda				
Pachychilidae			1	1
Thiaridae	61			61
Hydrobiidae	6			6
Physidae	10			10
TOTAL	342	249	32	623

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

El género *Macrobrachium* sp. y las familias Libellulidae y Gomphidae, son las que mayor presencia tuvieron en el mes de abril (Figura No. 16).

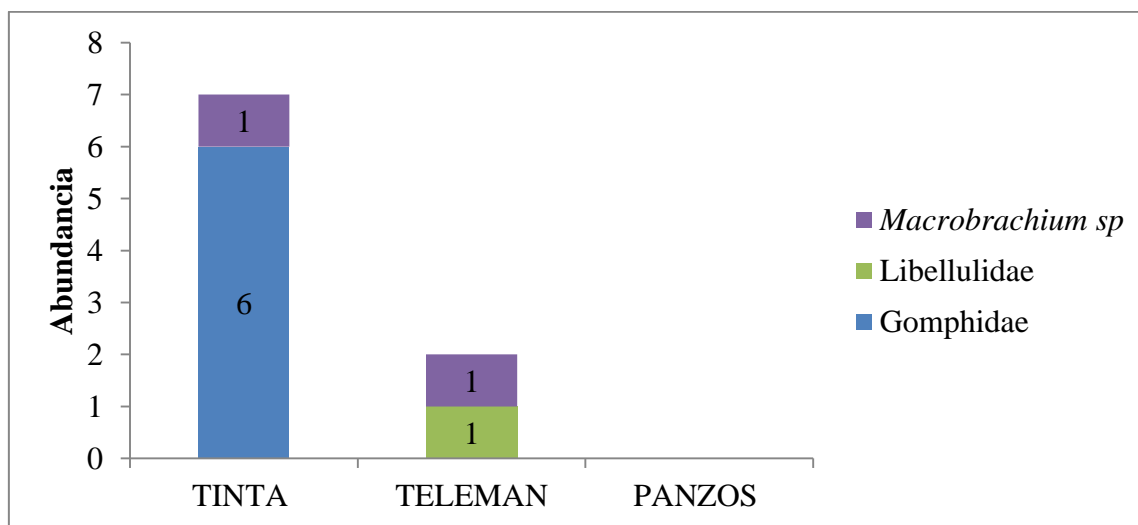


Figura No. 16 Grupos principales de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreos durante el mes de abril (Trabajo de campo, 2015)

Durante los meses de abril, junio y agosto se evaluó la presencia de macroinvertebrados, donde sobresale la familia Gomphidae, que a pesar de su poco número de individuos fue la familia que se presentó durante los tres muestreos. El mes de abril se caracteriza por presentar pocas lluvias, menor caudal de agua, aguas poco turbias y en mejores condiciones de hábitat, dicha época presentó en el punto la Tinta el mayor número de organismos de la familia Gomphidae con 6 individuos.

Macrobrachium sp. y Gomphidae son las familias de mayor abundancia en el mes de junio (Figura No. 17).

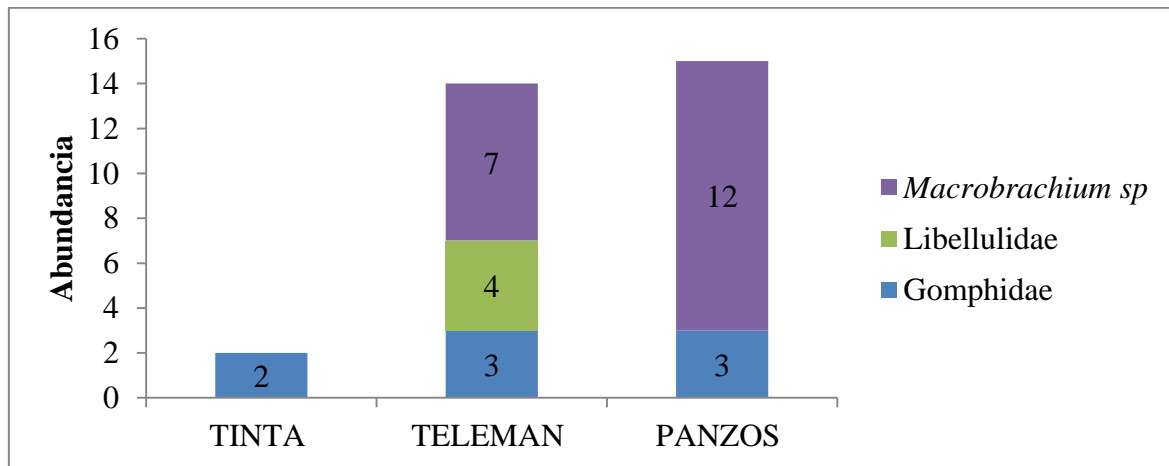


Figura No. 17 Grupos principales de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreos durante el mes de junio (Trabajo de campo, 2015)

El mes de junio se caracterizó por presentar inicios de aumento de la carga orgánica y perturbaciones del caudal, en esta época se encontró el menor número de organismos de la familia Gomphidae.

Las familias Libellulidae y Gomphidae presentaron mayor presencia en el mes de agosto (Figura No. 18).

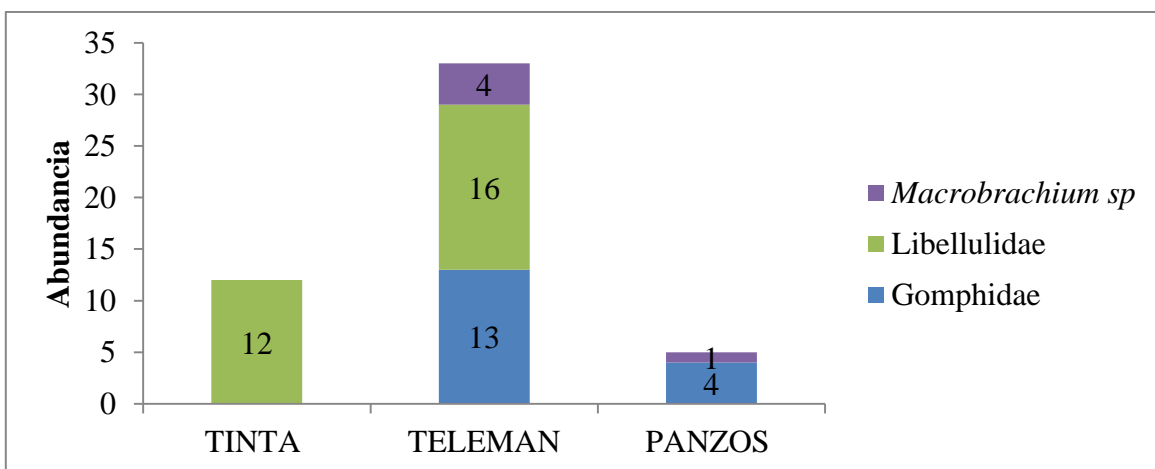


Figura No. 18 Grupos principales de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreos durante el mes de agosto (Trabajo de campo, 2015)

El mes de agosto, se caracterizó por la presencia de un aumento de carga orgánica en el medio y aumento del caudal lo que ocasiona daños al medio, sin embargo en esta época y en el punto Telemán se encontró el mayor número de organismos de esta familia.

6.2 Parámetros físico-químicos del agua

6.2.1 Oxígeno disuelto

En relación al oxígeno disuelto, se observa una disminución gradual a medida que la época cambia. En general las concentraciones de oxígeno son mayores en el mes de abril y junio con un porcentaje de saturación promedio de 110 % y bajas en el mes de agosto con un porcentaje de saturación de 25% (Figura No. 19).

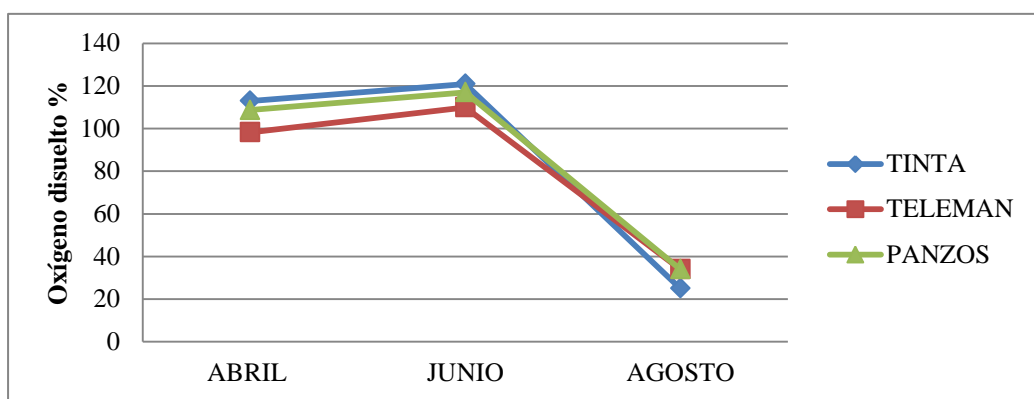


Figura No. 19 Perfil del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

Los valores de oxígeno encontrados en el mes de abril puede deberse a que hay un intercambio de oxígeno directo con la atmósfera, ya que esta parte del río Polochic es muy caudalosa con mayor movimiento de agua, permitiendo condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (Lewis, 1996).

Sin embargo la notable disminución del oxígeno en todos los sitios de muestreo en el mes de agosto pudo deberse al aumento de materia orgánica, por lo que este tiende a disminuir en el medio.

6.2.2 Temperatura

La temperatura del agua presentó poca variación entre los diferentes sitios, los valores más altos se obtuvieron en la época seca en el mes de abril. En este caso la temperatura se mantuvo en un promedio de 26°C, considerándose un dato homólogo en todas las estaciones muestreadas (Figura No. 20).

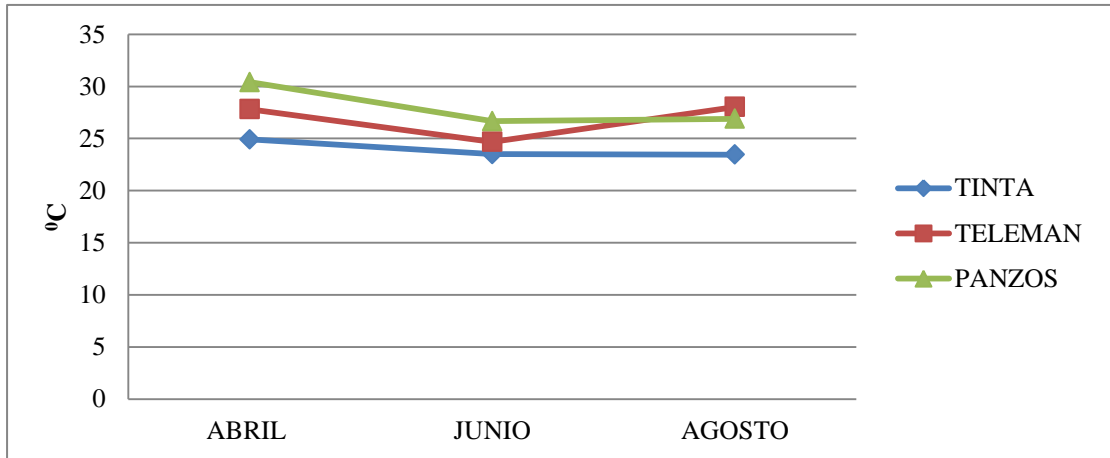


Figura No. 20 Temperatura en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

6.2.3 Potencial de hidrógeno

El pH se mantuvo en un promedio de 7.05 unidades considerado entre el rango de neutro. En el mes de junio el nivel de pH se mantuvo con una tendencia de 6 unidades, siendo ligeramente ácido. En general a lo largo del estudio el pH presentó valores neutros, como la mayoría de los cuerpos de agua lóticos, según la bibliografía (Roldán, y Ramírez, 2008) (Figura No. 21).

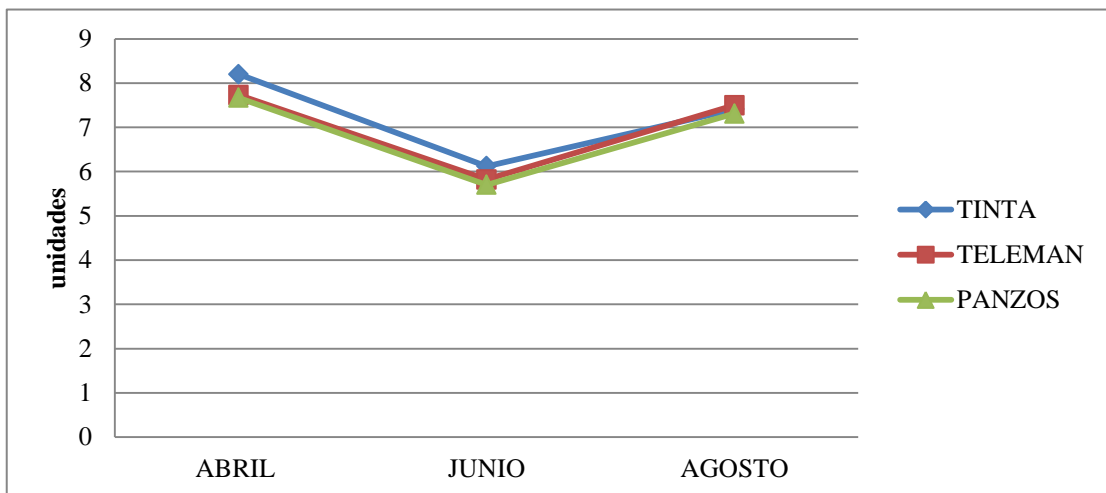


Figura No. 21 pH en los sitios de muestreo, (Trabajo de campo, 2015)

6.2.4 Conductividad eléctrica

Se debe considerar que los valores de conductividad con concentraciones menores de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corresponden a aguas con bajo contenido iónico y desde 500 hasta 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para aguas fuertemente mineralizadas (Roldán, y Ramírez, 2008). La cuenca media del río Polochic alcanzó un promedio de conductividad de 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose por debajo de los valores de aguas mineralizadas (Figura No. 22).

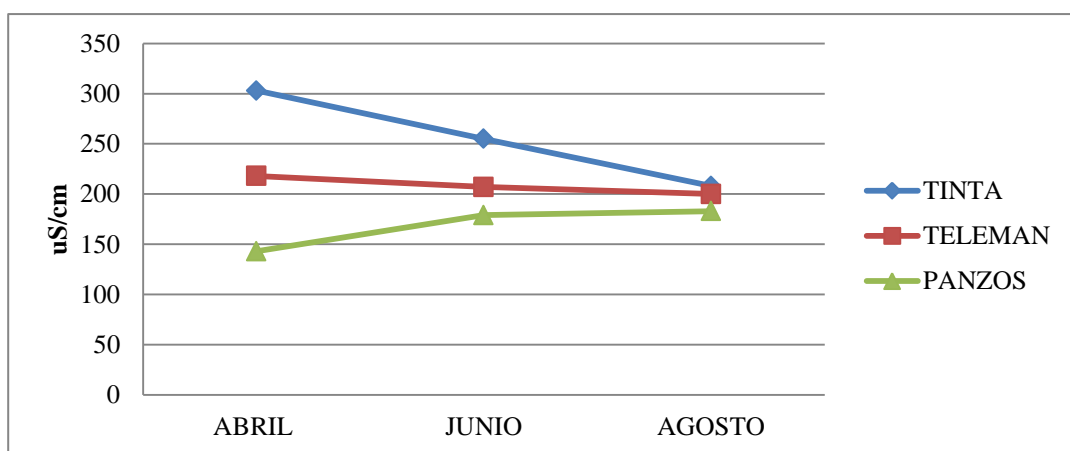


Figura No. 22 Conductividad en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

6.2.5 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales se encuentran en un promedio de 105 mg/L, con lecturas máximas de 150 y mínimas de 68 mg/L. En abril los datos variaron según el sitio de muestreo, esto puede deberse al incremento de sedimentos que comúnmente se encuentra en la parte baja o bien al incremento que se da por naturaleza al entrar la época lluviosa, según lo indica la bibliografía (Roldan, 2008) (Figura No. 23).

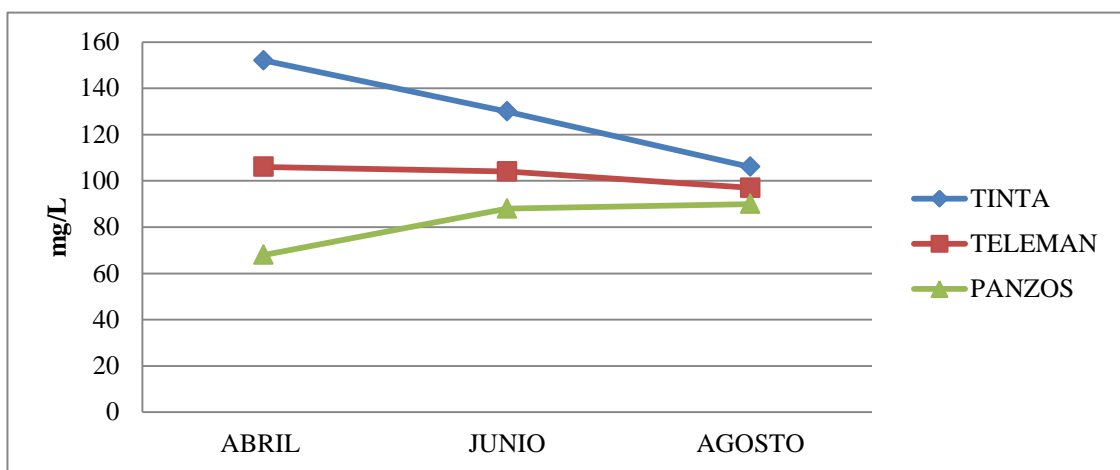


Figura No. 23 Sólidos disueltos totales en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

Los niveles de sólidos disueltos totales de todos los sitios muestreados son superiores a los rangos reportados para la mayoría de lagos y ríos neo tropicales (10-200 mg/L), según lo indica la bibliografía (Roldán, y Ramírez, 2008), evidenciando las altas concentraciones de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas disueltas a lo largo de la cuenca media del río Polochic.

6.2.6 Ortofosfatos

Las concentraciones de ortofosfatos oscilan entre 0-0.16 $\mu\text{g/L}$ encontrándose en el rango deseable para un cuerpo de agua, siendo el sitio de Panzós el que mayor concentración presentó, durante el mes de abril. Con los sitios de la Tinta y Telemán se pudo observar un comportamiento más estable, presentando un aumento en la concentración de ortofosfatos del

mes de junio al mes de agosto, siendo la época lluviosa la que mayor concentración presentó respecto a estos dos sitios, (Figura No. 24).

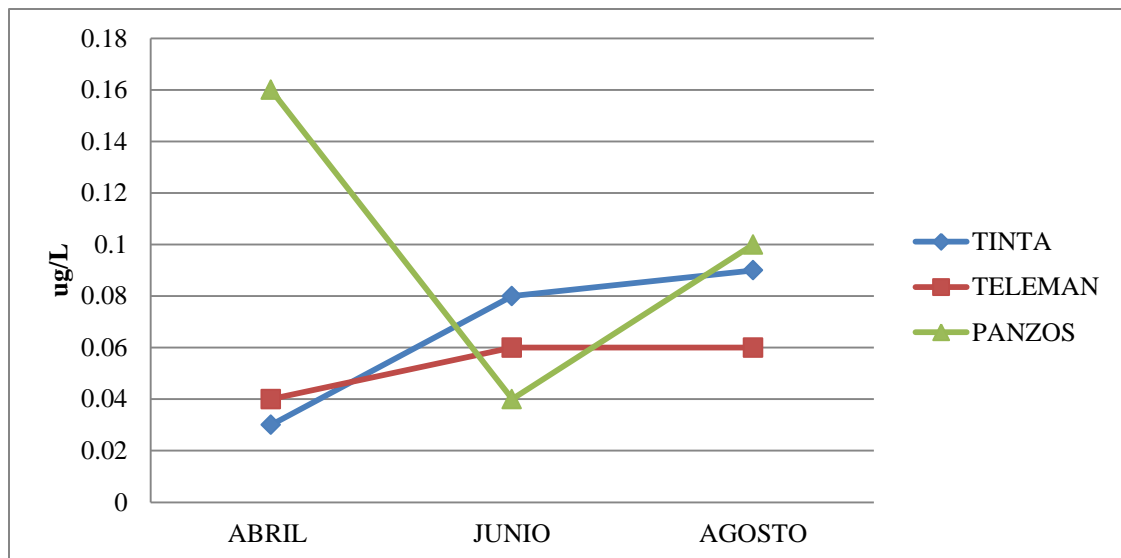


Figura No. 24 Fosfatos en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

El aumento gradual de las concentraciones de ortofosfatos en los sitios muestreados respecto a los meses pueden ser causadas por las actividades humanas principalmente por descargas de aguas residuales de las poblaciones aledañas a la cuenca, otro factor puede deberse a la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes en el área el cual llega a los cuerpos de agua por escorrentía durante la época lluviosa, ya que Telemán y Panzós se encuentran rodeados de cultivos de palma africana y caña de azúcar. Los Estándares para Agua Potable –EPA- por sus siglas en inglés, recomienda que el fósforo de ortofosfato no debe exceder de 0.05mg/L en los ríos previo a su ingreso a un lago u otro cuerpo de agua (Bol, 2004).

6.2.7 Nitratos

El sitio la Tinta en el transcurso de las épocas se mantuvo estable con un promedio de 0.21 mg/L, sin embargo para los sitios de Telemán y Panzós, las concentraciones tendieron a aumentar en la época de transición (Figura No. 25)

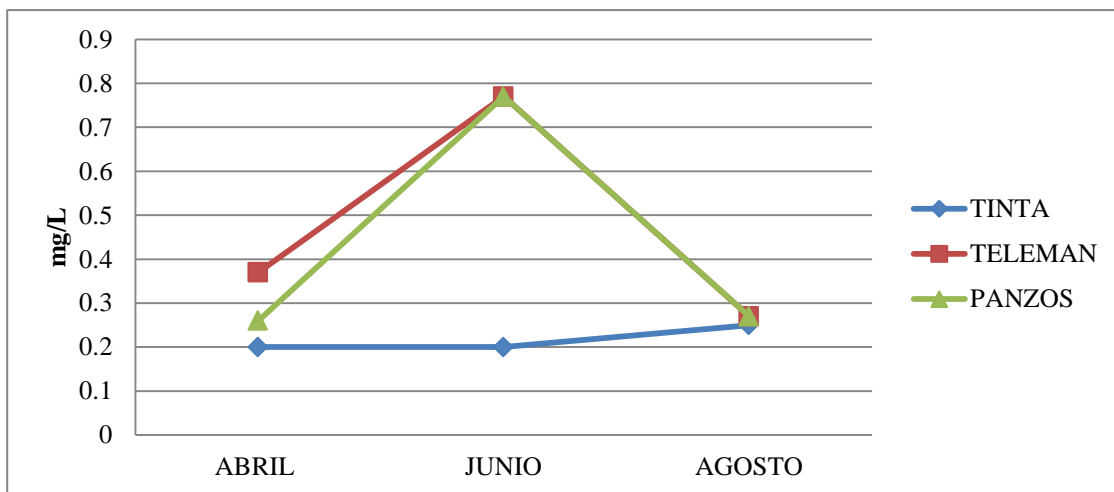


Figura No. 25 Nitratos en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

Las concentraciones de nitrato en aguas naturales son normalmente de unos pocos miligramos por litro, en aguas superficiales la concentración de nitrato no suele superar los 0.100 mg/L, sin embargo en aguas contaminadas por aguas residuales urbanas y/o industriales, los valores de nitratos pueden ser muy superiores a los 0.100 mg/L (Oliva, 2010).

El promedio en la cuenca media del río Polochic fue de 0.58 mg/L, superando las concentraciones promedio de aguas superficiales. Esto indica que la cuenca media se encuentra en un estado incipiente de eutrofización por contaminación de nitrógeno de nitrato. Las concentraciones pueden deberse principalmente al lixiviado de tierras agrícolas donde se utilizan abonos y fertilizantes que contienen nitratos dentro de sus fórmulas.

6.2.8 Nitritos

El comportamiento de los nitritos es similar al de los nitratos ya que las concentraciones de este provocan un estado incipiente de contaminación a la cuenca. La Organización Mundial de la Salud -OMS- ha propuesto un valor guía para el nitrito de 3 mg/L (Oliva, 2010). Para la cuenca media del río Polochic se encontró un promedio de nitritos de 0.023 mg/L, siendo la época lluviosa donde se encontraron concentraciones más homogéneas que en las otras épocas (Figura No. 26).

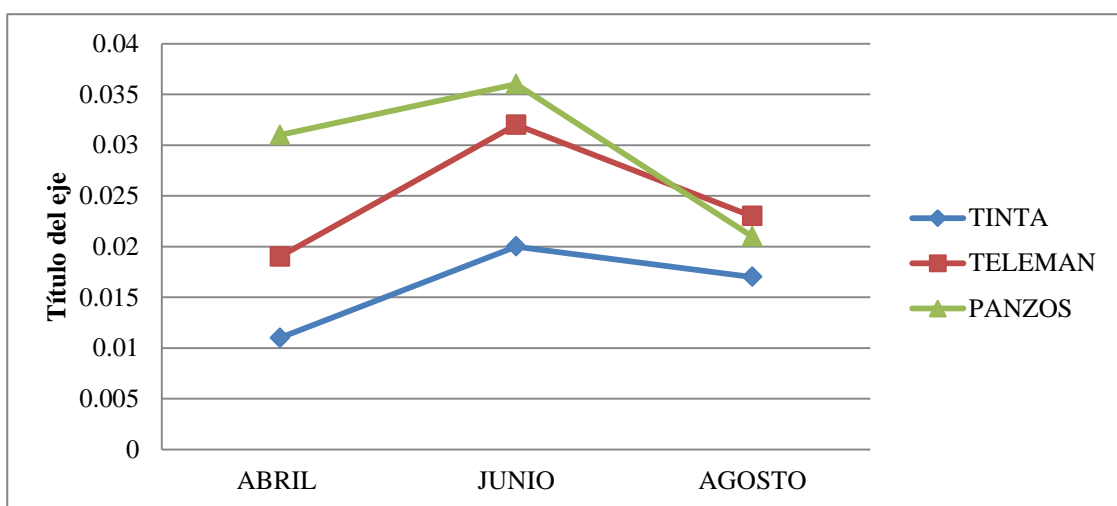


Figura No. 26 Nitritos en los sitios de muestreo (Trabajo de campo, 2015)

Según estudios realizados en el lago de Izabal, las condiciones deseables de nitritos en dicho cuerpo de agua deberían de ser mayores a 0.002 mg/L y menores a 0.005 mg/L (AMASURLI, 2012), comparado con el promedio de nitritos encontrados en el río Polochic que fue de 0.023 mg/L, el río se encuentra en un rango mayor a la concentración deseable para el cuerpo de agua.

6.3 Análisis de similitud

Mediante un análisis de conglomerados se puede observar la conformación de dos grupos, que presentan similitud entre los sitios muestreados en el mes de abril respecto a los parámetros físico-químicos. El primero conformado por los sitios 2 y 3 que muestra que existe similitud entre los parámetros físico-químicos muestreados en ambos sitios, sin embargo se observa un segundo grupo que esta conformado por el sitio 1, donde se observa una diferencia en cuanto a los parámetros muestreados en el primer grupo (Figura No. 27).

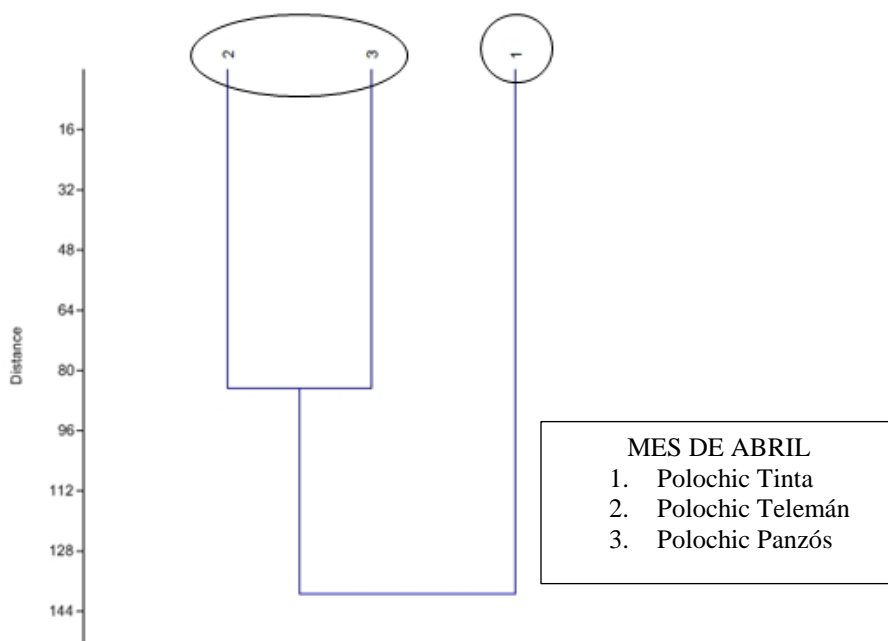


Figura No. 27 Similitud de los sitios muestreados respecto de los parámetros físico-químicos en el mes de abril (Trabajo de campo, 2015).

En el análisis de agrupamiento jerárquico se observa la conformación de dos grupos diferentes, el primer grupo correspondiente a los sitios 1 y 2 (Tinta y Telemán) los cuales se agruparon por la similitud entre los parámetros físico-químicos evaluados en esta época siendo muy similares en oxígeno 116 %, temperatura con 25⁰C, pH de 6 y orto fosfatos con 0.07 mg/L.

El segundo está conformado por el sitio 3 correspondiente a Panzós, el cual muestra los datos de los parámetros fisicoquímicos con relación al grupo 1, observando diferencia entre la conductividad con $231\mu\text{S}/\text{cm}$ y solidos totales disueltos con $88\text{mg}/\text{L}$. Se observa diferencia con el dendograma anterior, las condiciones del río van cambiando para adaptarse a la época lluviosa, el caudal del río crece, la temperatura tiende a bajar levemente, entre otros factores. En estos sitios los parámetros físicoquímicos tuvieron ese comportamiento debido a las bajas condiciones de lluvia que surgieron en este territorio de El Estor, Izabal, mostrando por tal razón similitudes entre los sitios muestreados (Figura No. 28).

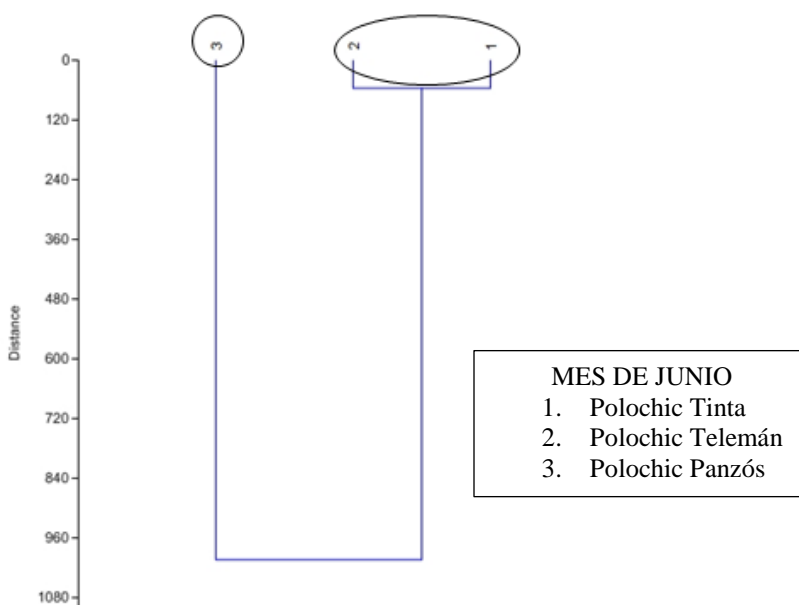


Figura No. 28 Similitud de los sitios muestreados respecto de los parámetros físico-químicos en el mes de junio (Trabajo de campo, 2015)

En el dendrograma se observan dos grupos el primero conformado por los puntos 1 y 2 que presenta similitud entre los parámetros fisicoquímicos en ambos sitios, en cuanto a conductividad, ortofosfatos y pH, al comparar esto con la figura anterior, se observa que el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos continua con el mismo comportamiento que en el mes de junio. También se encuentra un segundo grupo correspondiente al sitio 3 que representa diferencia con el grupo 1, existe diferencia con los parámetros de OD, temperatura, SDT, NO_2^{-1} y NO_3^{-1} , (Figura No. 29).

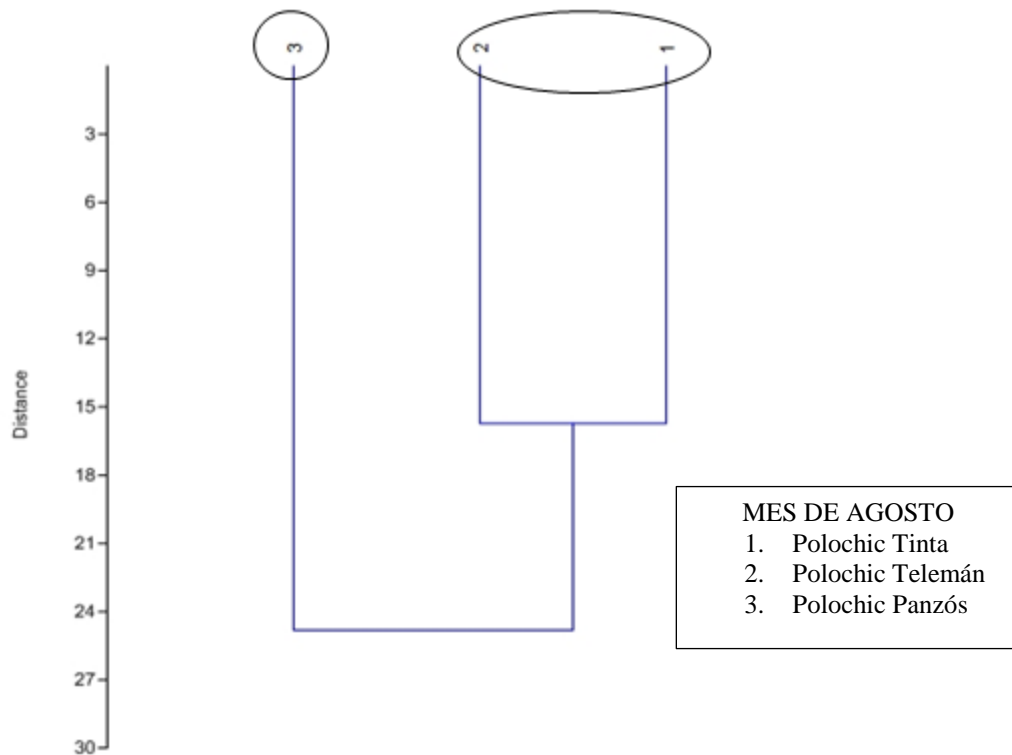


Figura No. 29 Similitud de los sitios muestreados respecto de los parámetros físico-químicos en el mes de agosto (Trabajo de campo, 2015)

El dendrograma representa una primera aproximación a la distribución espacial de las familias, según sus abundancias relativas, mediante el análisis de agrupación cluster, se determina la similitud de los tres sitios muestreados en el mes de abril respecto a los bioindicadores identificados en cada sitio (Figura No. 30).

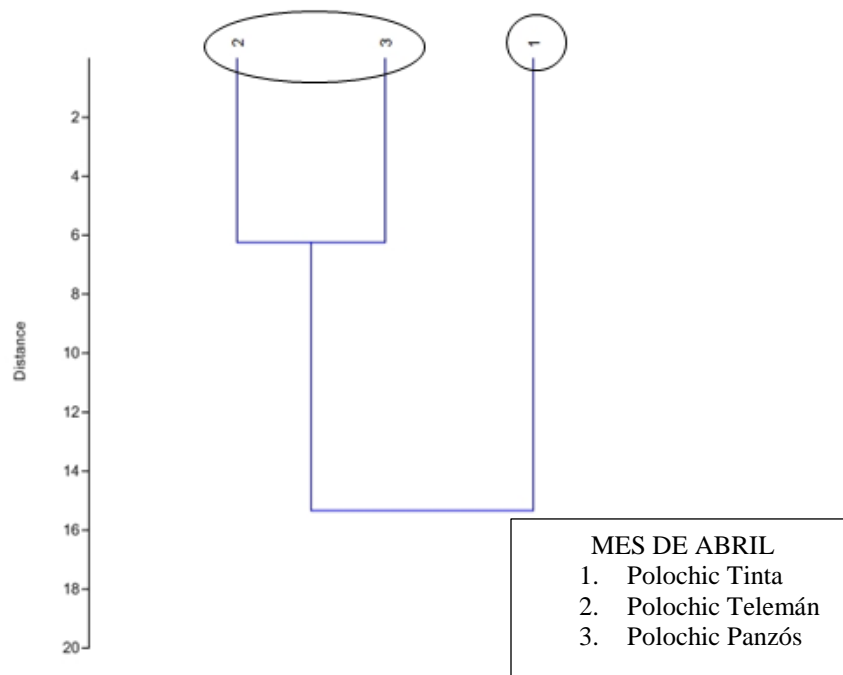


Figura No. 30 Similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de familias de macroinvertebrados en el mes de abril (Trabajo de campo, 2015).

En el dendograma se puede distinguir dos grupos, el primero correspondiente al sitio 1 la Tinta y el segundo correspondiente a los sitios 2 y 3 Telemán y Panzós, esto indica que el sitio 2 y 3 presentan similitud en cuanto a las familias encontradas en ambos puntos y que el sitio 1 presenta diferencia respecto a las familias, identificando en este sitio la presencia de Gomphidae, *Macrobrachium* sp. y Thiaridae, organismos que solo tienen presencia en este sitio. Las familias de macroinvertebrados se ven influenciados con los parámetros físico-químicos encontrados en cada sitio y en el mes en la que se muestrearon.

El mes de junio es considerado una época de transición entre la época seca y la época lluviosa. Se determinó la presencia de dos grupos, el primero correspondiente al sitio 1 y 3 que son Tinta y Panzós esto deduce que ambos sitios representan similitud en cuanto a las familias encontradas en ambos sitios siendo la familia Gomphidae la más abundante en estos sitios.

Y un segundo correspondiente al sitio 2 Telemán, presentando diferencia respecto a las familias encontradas en el mismo, el grupo 2 se destaca por la presencia de las familias Calopterygidae, Oligoneuriidae, Leptohiphidae, Baetidae, Hydropsychidae y Tipulidae. La presencia de las familias de macroinvertebrados en este mes no se ve influenciado con los parámetros físico-químicos encontrados en los sitios, el dendograma no presenta similitud con el dendograma correspondiente a los sitios respecto a las familias de macroinvertebrados, esto se debe a que con el tiempo en un cuerpo de agua van surgiendo cambios físico-químicos que perjudica a ciertas familias pero beneficia a otras, reflejándose en la presencia o ausencia de algunas familias en el mes de junio (Figura No. 31).

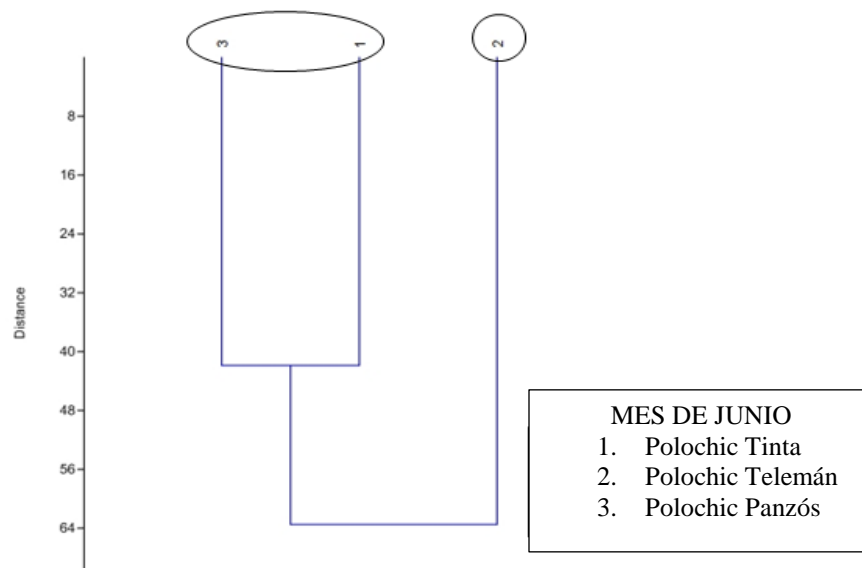


Figura No. 31 Similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de familias de macroinvertebrados en el mes de julio (Trabajo de campo, 2015).

El análisis de similitud de cluster permite comparar la similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de las familias de macroinvertebrados, considerando que el mes de agosto corresponde a una época de lluvia.

Se observa en el dendograma la presencia de dos grupos, el primer grupo correspondiente al sitio 1 la Tinta en la cual hay presencia de las familias Coenagrionidae, Naucoridae, Gerridae, Corydalidae, Elmidae, Dryopidae, Perlidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Tipulidae, Thiaridae y Physidae, algunos presentes solo en este sitio y esta época. Y un segundo grupo correspondiente a los sitios 2 y 3 Telemán y Panzós, presentan similitud en cuanto a las familias encontradas siendo estas familias Hydrposychidae, *Macrobrachium* sp., y Gomphidae (Figura No. 32).

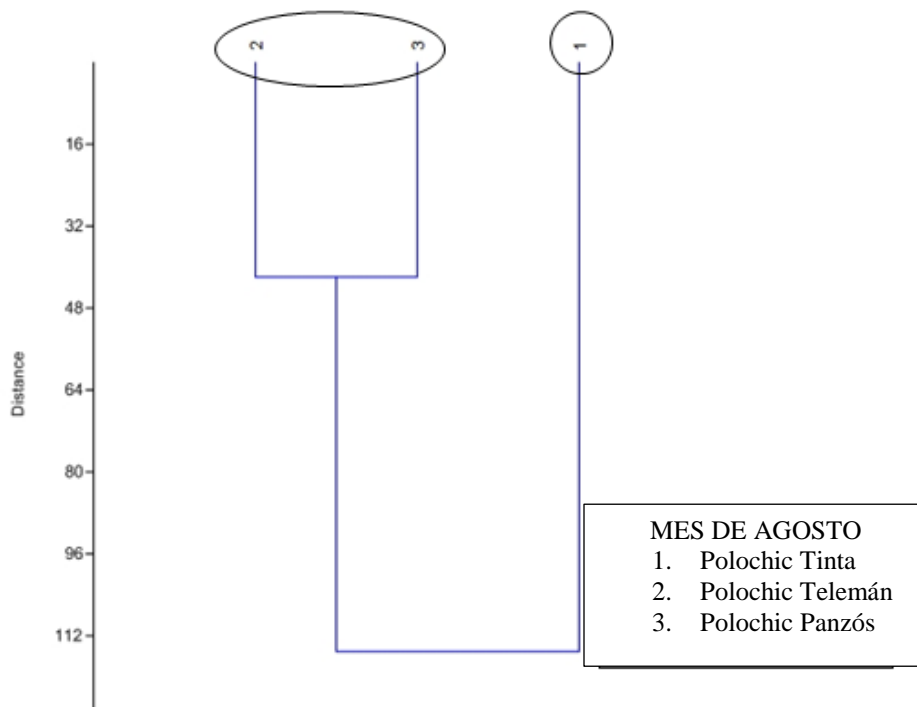


Figura No. 32 Similitud de los sitios muestreados respecto a la presencia de familias de macroinvertebrados en el mes de agosto (Trabajo de campo, 2015).

La presencia de las familias de macroinvertebrados en esta época se ve influenciado con los parámetros físico-químicos encontrados en los sitios en la misma época, al observar el dendograma correspondiente a los sitios respecto a parámetros físico-químicos, presenta similitud con el dendograma correspondiente a las familias de macroinvertebrados, observando que los parámetros físico-químicos no afectan la presencia de las familias de macroinvertebrados en el mes de agosto.

Además de un análisis de similitud de cluster también se realizó un análisis de correlación entre los tres sitios muestreados Tinta, Telemán y Panzós y determinar de esta forma la correlación que presentaron con la presencia de parámetros fisicoquímicos y con la abundancia de macroinvertebrados.

Se observa correlación entre los parámetros físico-químicos dentro de los sitios muestreados. La conductividad (Con) tiene una elevada correlación positiva (0.997) con los sólidos totales disueltos (SDT), el pH tienen una correlación negativa (-0.739) con los nitratos, a menor concentración de nitratos se tiende a subir el pH (Cuadro No. 6).

Cuadro No. 6 Correlación de parámetros físico-químicos dentro de los sitios muestreados en cuenca media del río Polochic.

	<i>T</i>	<i>Con</i>	<i>pH</i>	<i>SDT</i>
<i>SDT</i>	-.695	.997	.142	1.000
PO_4^{-3}	.403	-.628	.146	-.610
NO_2^{-1}	-.139	.647	.344	.623
NO_3^{-1}	-.031	-.303	-.739	-.293

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

Sin embargo se observa una correlación positiva entre los nitritos y negativa entre los fosfatos de (0.6) con la conductividad. De igual manera se tiene una relación entre SDT y la temperatura (0.695) y entre los fosfatos con la conductividad y SDT.

La conductividad tiene una alta correlación con los sólidos totales disueltos esto quiere decir que el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad.

Las descargas de aguas residuales y de sólidos disueltos tienden a aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de iones como los nitratos. Se considera que la conductividad es útil como indicador de la calidad del agua.

La correlación positiva que presenta cada familia con respecto a las otras indica la relación que hay entre ambas, las cuales son de 0.6 acercándose a 1, manteniendo una estrecha correlación positiva entre ambas (Anexo No.2).

Las familias que presentaron mayor correlación positiva fueron Coenagrionidae (Odonata) con Gerridae (Hemiptera), Dryopidae (Coleoptera), Leptophlebiidae (Ephemeroptera) y Ecnomidae (Trichoptera), todas estas familias suelen habitar en lugares de aguas muy limpias, bien oxigenadas y de fondo rocoso (Roldan, 1999). La familia Gerridae está correlacionado con Dryopidae (Coleoptera), Leptophlebiidae (Ephemeroptera) y Ecnomidae (Trichoptera). La familia Perlidae tiene correlación positiva con Leptohyphidae (Ephemeroptera), Baetidae (Ephemeroptera) y Ecnomidae (Trichoptera), todas correspondientes a familias que habitan en agua limpia y muy oxigenada las cuales presentan las mismas condiciones de hábitat que las anteriores, consideradas como buenos indicadores de la calidad del agua.

6.4 Análisis de correspondencia canónica (ACC)

El análisis de correspondencia canónica es una técnica de ordenación directa y representa además un caso especial de regresión múltiple donde la composición de especies es directamente relacionada con las variables ambientales. Se correlacionaron la diversidad y abundancia de las familias de macroinvertebrados acuáticos con las características físico-químicas tomadas en los sitios de colecta.

Se pudo observar que en los primeros tres ejes del gráfico, el 73.5% de la varianza. El primer eje está correlacionado con las variables de nitratos, nitritos, temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales y ortofosfatos.

El test de permutaciones de Monte Carlo (500 permutaciones) establece en el primer eje de ordenación diferencia significativa ($p < 0.05$), por lo que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos se ve directamente influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua.

Las variables de nitratos y temperatura se encuentran ubicadas en el eje superior izquierdo, siendo las familias Hydrobiidae, Tipulidae, Leptoheptidae, Oligoneuriidae, Aeshnidae, Libellulidae, Gerridae, Perlidae, Elmidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Dryopidae, Ecnomidae, Leptophlebiidae y Baetidae, más estrechamente asociadas con estos parámetros.

Las ninfas de Perlidae, viven en aguas rápidas, limpias y bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos y hojas, son organismos cosmopolitas (Roldán y Ramírez, 2008). Las condiciones de hábitat para este orden son propias del sitio la Tinta y Telemán de la cuenca media del río Polochic.

Macrobracium sp. es el taxa más influenciado por los ortofosfatos, agrupándose en el lado derecho del gráfico de ordenación. Estos organismos viven en grandes ríos como en quebradas y toleran concentraciones salinas leves (Roldán y Ramírez, 2008), siendo características propias del río Polochic.

Las familias Naucoridae, Gomphidae, Belostomatidae, Corydalidae, Physidae, Thiaridae e Hydrobiidae, son familias que se encuentran más estrechamente relacionadas con los sólidos totales disueltos y la conductividad.

Las familias Pachychilidae y Chironomidae se ven influenciadas por los ortofosfatos, nitritos y pH. La presencia de chironomidos indican un fuerte deterioro de la calidad del agua, (Springer, 2010., Roldán y Ramírez, 2008) estos fueron encontrados en el sitio de Panzós, considerado un sitio contaminado (Figura No. 33).

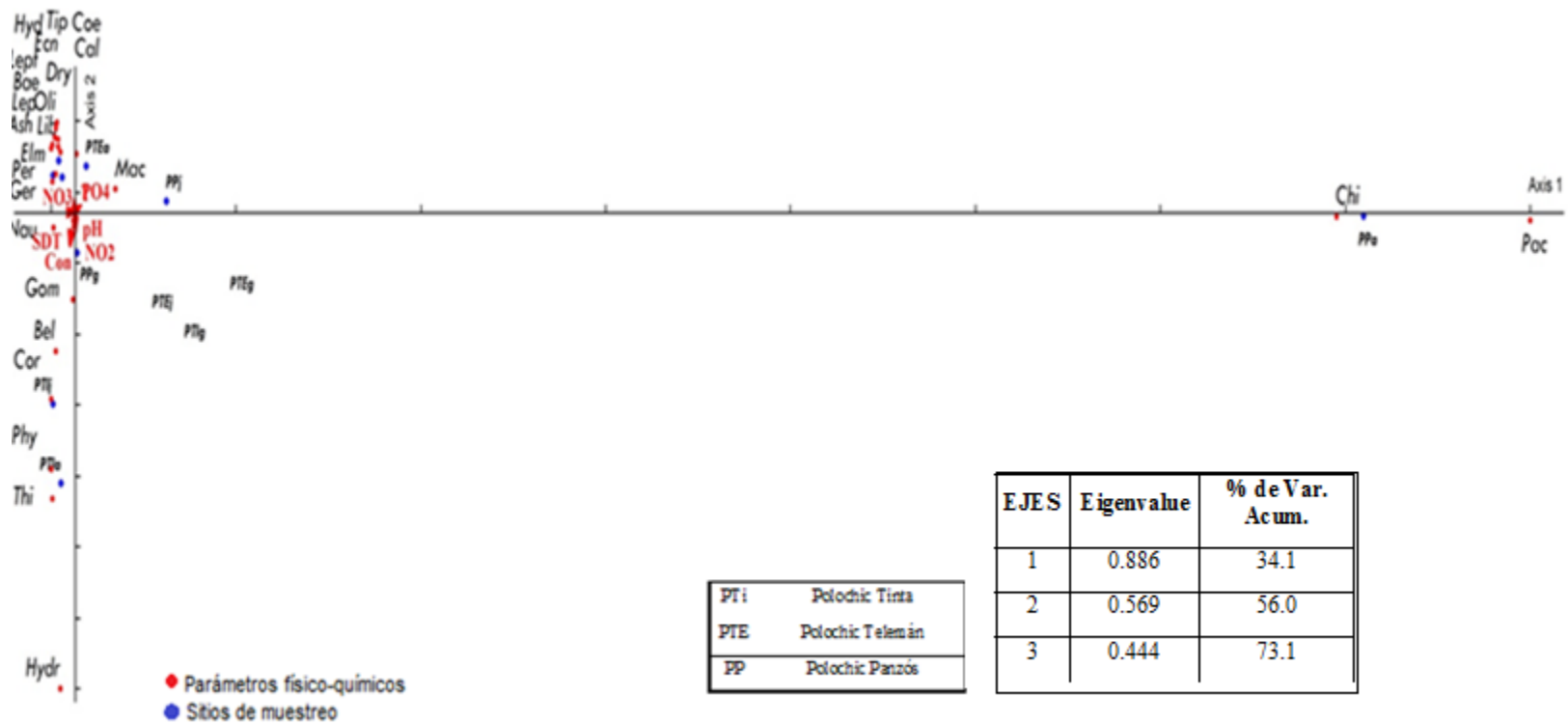


Figura No. 33 Ordenación de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables físicoquímicas, (Trabajo de campo, 2015)

Se observa una representación más detallada del comportamiento de los macroinvertebrados respecto a los parámetros físicoquímicos sin la presencia de las familias Chironomidae y Pachychilidae. Observándose más detalladamente la influencia de ciertos parámetros físicoquímicos respecto a la presencia de macroinvertebrados y los puntos donde fueron encontrados (Figura No. 34).

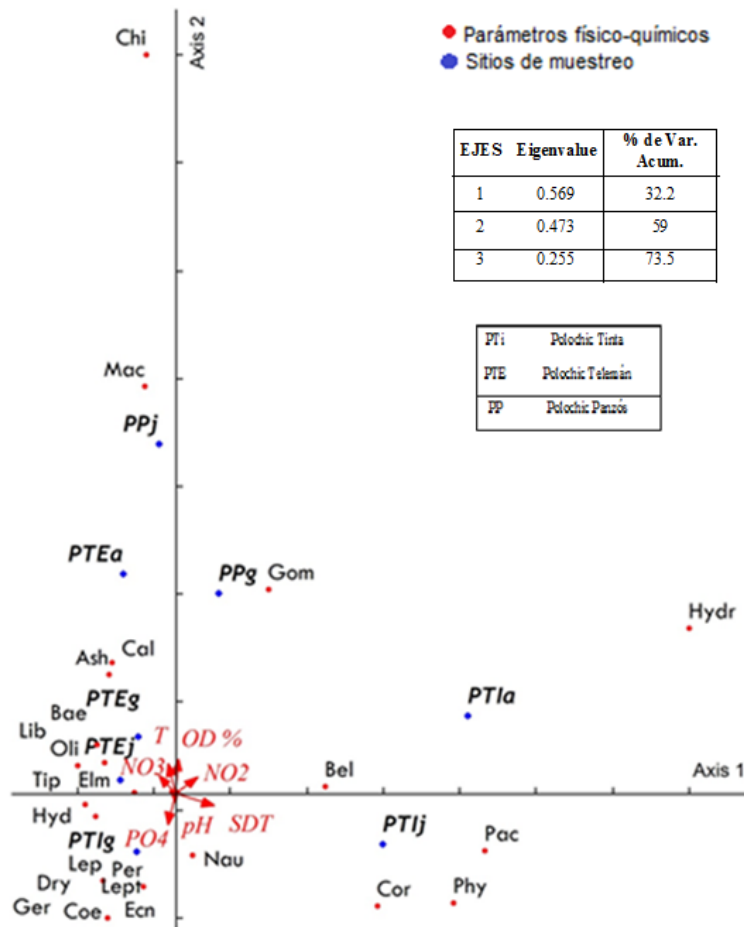


Figura No. 34 Ordenación de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables físicoquímicas sin la presencia de Chironomidos, (Trabajo de campo, 2015).

El sitio de Telemán se encuentra en el eje donde hay mayor diversidad de macroinvertebrados y mayor influencia de nitratos, comparándolo con otros sitios como la Tinta, el cual está influenciado por los ortofosfatos, pH y los sólidos disueltos totales.

7. CONCLUSIONES

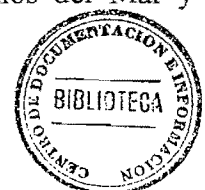
1. En la cuenca media del río Polochic se clasificaron 26 familias de macroinvertebrados acuáticos, correspondientes a 10 órdenes y 3 clases. Se recolectaron 623 organismos, 35 durante la época seca (abril), 235 durante la época de transición (julio) y 353 en la época lluviosa (agosto).
2. La clase con mayor abundancia presente en los tres sitios de muestreos fue Insecta (83%), en menor abundancia se encontraron Gastropoda (13%) y Malacostraca (4%).
3. Durante el mes de abril la familia más abundante fue Thiaridae y las ninfas de la familia Gomphidae con 12 y 6 individuos respectivamente, ambos encontrados en la Tinta. En el mes de junio fueron Thiaridae e Hydropsychidae con 34 y 27 organismos respectivamente. Y en el mes de agosto se reportó la familia Leptohyphidae como la más abundante con 123 individuos.
4. Al realizar la evaluación biológica y fisicoquímica para el año 2015, la calidad del agua de la cuenca media del río Polochic, en un contexto general es de buena calidad para la Tinta, moderadamente buena para Telemán y contaminada para Pánzos
5. El test de permutaciones de Monte Carlo (500 permutaciones) mostró significancia ($p < 0.05$), por lo que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos se ve directamente influenciada por las condiciones fisicoquímicas del agua.

8. RECOMENDACIONES

1. Incrementar el número de muestreos y el esfuerzo, para determinar la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos a largo plazo.
2. Establecer dentro de los monitoreos de calidad del agua de la Fundación Defensores de la Naturaleza, muestreos de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del lago de Izabal, con el objetivo de generar información del componente biológico de dichos cuerpos de agua.
3. Desarrollar un índice biótico a nivel de familias para determinar la calidad del agua de los diferentes cuerpos de agua lóticos de la cuenca del lago de Izabal.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Antón, A., & Lizano, J. (s.f.). *Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas*. Tres Cantos Madrid: Fundación Ibérica para la seguridad alimentaria.
2. Arriola, I. (2014). *Índice de calidad de agua en los ríos Tzalá y Tzununá, cuenca del Lago de Atitlán*. Panajachel, Sololá, Guatemala : Memoria I Simposio de Investigación Científica y Tecnológicas en la Cuenca del Lago de Atitlán .
3. Aurazo, M., & Rivera, M. (2003). *Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama*. Madrid, España http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne22/L22b085_Contaminacion_cromo_rio_Jarama.pdf: Centro de Ciencias Medio Ambientales, Museo Nacional de Ciencias Naturales.
4. Bol, H. A. (2004). *Impacto por nutrientes de las aguas residuales vertidas en la cuenca del río dulce y lago de Izabal*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
5. Calderon, T. (2009). *Efecto del microhábitat generado por el sustrato sobre la abundancia y distribución de macroinvertebrados en Río Cáliz, Biótomo Chocón Machacas, Livingston, Izabal*. Informe de Tesis para optar por el título de Licenciado en Biología. Universidad de San Carlos.
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*.
7. Dix, A. (1999). *Impacto de la cuenca del Río Polochic sobre la integridad biológica del Lago de Izabal*. Guatemala : Universidad del Valle de Guatemala, Centro de Estudios Ambientales.
8. FDN. (2003). *II Plan Maestro 2003-2007*. Guatemala: Fundación Defensores de la Naturaleza, Refugio de Vida Silvestre, Bocas del Polochic.
9. Flowers, R. (2010). *Introducción a los macroinvertebrados clase Ephemeroptera*. Rev.Biol.Trop. (Int.J.Trop.Biol. ISSN-0034-7744) Vol 58. 63-94: Instituto para Estudios de Ecosistemas Tropicales, Universidad de Puerto Rico.
10. Garcia, M. A. (2014). *Línea base de calidad de agua del río dulce, Livingston, Izabal*. Guatemala : Universidad de San Carlos -USAC-, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.



11. García, P. (2015). *Componentes ecosistémicos y modelo de gestión de los manglares achaparrados del río Sarstún en el Caribe de Guatemala*. Costa Rica.: Tesis Doctoral. UNED,.
12. Gutierrez, P. (2010). *Introducción a los macroinvertebrados clase Plecoptera*. Rev.Biol.Trop. (Int.J.Trop.Biol. ISSN-0034-7744) Vol 58. 137-148: Instituto para Estudios de Ecosistemas Tropicales, Universidad de Puerto Rico, .
13. Hanson, P., Springer, M., & Ramirez , A. (2010). *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos* . Costa Rica : Rev. Biol. Trpo. (In.J.Trop.Biol.ISSN-0034-7744) Vol.58 3-37.
14. Lemus, E. A. (2013). *Índice de calidad del agua -ICA- en el perfil del lago de Amatitlán durante el periodo 2004-2012*. Guatemala : Universidad de San Carlos -USAC-, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.
15. Lemus, S. (2011). *Evaluación del Fitoplancton como potencial bioindicador de la calidad del agua del lago de Izabal, Guatemala* . Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia .
16. Lorenzo, J. (2010). *Plan de desarrollo El Estor Izabal*. Guatemala: Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
17. MARN. (2012). *Informe Ambiental del Estado*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo .
18. MARN. (2012). *Informe Ambiental del Estado* . Guatemala : Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo .
19. Natalia, C. e. (2009). *Distribución y abundancia de Melanoides tuberculata (Gastropoda:Thiaridae) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco, México*. México: Laboratorio de Malacología, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad de Juárez Tabasco. .
20. Nguyen, N.-H. (1975). *The larval development of the prawns Macrobrachium equidens and Macrobrachium sp. (Decapoda: Palaemonidae), reared in the laboratory*. Faculty of Science, University of Saigon, South-Vietnam.
21. Oliva, B. E. (2003). *Contaminación fisicoquímica y bacteriológica del Río Dulce y Lago de Izabal*. Guatemala: USAC, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.



22. Oliva, B. E. (2006). *Contaminación físicoquímica y bacteriológica del Río Dulce y lago de Izabal*. Guatemala : Proyecto FODECYT.
23. Oliva, B. E. (2006). *Evaluación de la contaminación físico-química y bacteriológica en el agua del Río Dulce y Lago de Izabal*. Guatemala: Proyecto FODECYT.
24. Ortiz, J. (2015). *Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, Sololá*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.
25. Pacas, L. R. (2002). *Estudio limnológico de la zona occidental del lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes*. Guatemala : Relaciones temporales y especiales de variables físicoquímicas y biológicas. Revista Ciencia y Técnicas Agropecuarias .
26. Pacas, L. R. (2002). *Estudio limnológico de la zona occidental del Lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes*. Guatemala : Universidad de San Carlos -USAC-, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.
27. Ramírez , A. (2010). *Introduccion a los macroinvertebrados clase Odonata*. Rev.Biol.Trop. (Int.J.Trop.Biol. ISSN-0034-7744) Vol 58. 97-136: Instituto para Estudios de Ecosistemas Tropicales, Universidad de Puerto Rico, .
28. Ramírez, A. (2010). *Método de recolección* . Rev. Biol. Trop. Vol. 58, 41-50.: Instituto para Estudios de Ecosistemas Tropiales, Universidad de Puerto Rico. .
29. Reyes, F. (2013). *Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala: Dirección General de Investigación (DIGI), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
30. Robledo, J. (2014). *La calidad del agua del lago de Izabal, Guatemala. Relaciones temporales y especiales de variables físico-químicas y biológicas*. Guatemala : Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias .
31. Rodriguez, G., & Magalhaes, C. (2005). *Recent advances in the biology of the Neotropical freshwater crab family Pseudothelphusidae (Crustacea, Decapoda, Brachyura)*. Brasil : Rev. Bras. Zool. vol.22 no.2 Curitiba.
32. Roldán , G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: Universidad de Antioquia.



33. Roldan, G. (1999). *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua*. Colombia : Rev. Acad. Colomb. Cienc. .
34. Roldán, G. A. (2008). *Funtamentos de Limnología Neotropical*. Colombia: Universidad de Antioquia .
35. Sánchez, A. (1999). *Biomonitoreo de ríos en la gestión de cuencas*. Culiacán, Sinaloa, México : ANEI, A.C. Universidad Autónoma Chapingo.
36. Springer, M. *et al.* (2010). *Metodología estandarizada de muestreo multihábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos del El Salvador*. Ciudad Universitaria, San Salvador.
37. Webber , & Thurman . (1991). *PARAMETROS FISICO-QUIMICOS: SALINIDAD*. Recuperado el 12 de 06 de 2015, de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>



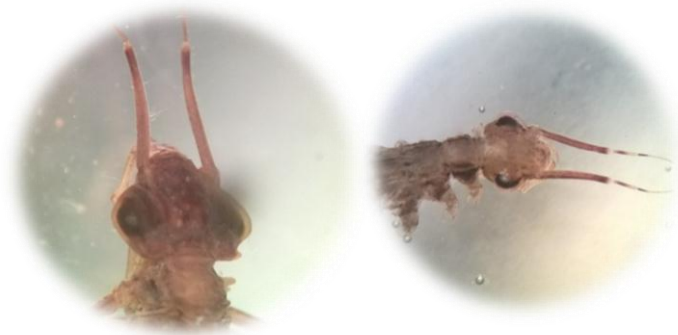
10. ANEXO



Orden Odonata, Sub orden Anisoptera, Familia Gomphidae



Orden Odonata, Sub orden Anisoptera, Familia Libellulidae



Orden Odonata, Sub orden Zygoptera, Familia Calopterygidae



Orden Hemiptera, Familia Naucoridae



Orden Coleoptera, Familia Elmidae



Orden Plecoptera, Familia Perlidae



Orden Ephemeroptera, Familia Oligoneuriidae



Orden Ephemeroptera, Familia Leptohiphidae



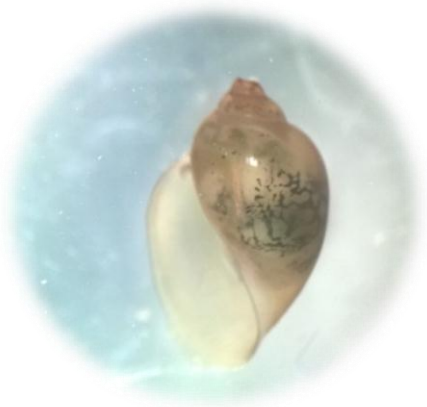
Orden Tricoptera, Familia Hydropsychidae



Orden Diptera, Familia Tipulidae



Filo Mollusca, Clase Gastropoda, Familia Thiaridae



Filo Mollusca, Clase Gastropoda, Familia Physidae



Subfilo Crustácea, Clase Malacostraca, Orden Decapoda, *Macrobrachium* sp.

Anexo No. 1 Catálogo de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca media del río Polochic
(Trabajo de campo, 2015)

	Gomp	Libellu	Aeshn	Calop	Coena	Nauco	Belost	Geri	Cory	Elmi	Dryo	Perl	Oligo	Leptohy	Baeti	Leptoph	Hydrop	Ecno	Chirono	Tipul	Macrob	Pachy	Thiari	Hydrobi	Physi
Gomp	1.000																								
Libellu	.530	1.000																							
Aeshn	.868	.760	1.000																						
Calop	.479	.930	.674	1.000																					
Coena	-.313	.514	-.125	.539	1.000																				
Nauco	-.320	.303	-.240	.288	.600	1.000																			
Belost	.557	.404	.661	.305	-.189	.000	1.000																		
Geri	-.313	.514	-.125	.539	1.000	.600	-.189	1.000																	
Cory	-.290	.075	-.182	.049	.432	.546	.498	.432	1.000																
Elmi	.263	.693	.370	.632	.350	.760	.235	.350	.138	1.000															
Dryo	-.313	.514	-.125	.539	1.000	.600	-.189	1.000	.432	.350	1.000														
Perl	-.345	.494	-.177	.508	.960	.801	-.153	.960	.500	.535	.960	1.000													
Oligo	-.040	.021	-.125	.000	-.125	.600	-.189	-.125	-.182	.701	-.125	.126	1.000												
Leptohy	-.247	.594	-.057	.608	.985	.686	-.163	.985	.393	.503	.985	.980	.024	1.000											
Baeti	.611	.775	.709	.695	.064	.375	.367	.064	-.168	.887	.064	.187	.566	.220	1.000										
Leptoph	-.313	.514	-.125	.539	1.000	.600	-.189	1.000	.432	.350	1.000	.960	-.125	.985	.064	1.000									
Hydrop	-.182	.410	-.124	.401	.554	.890	-.248	.554	.117	.849	.554	.735	.754	.674	.567	.554	1.000								
Ecno	-.313	.514	-.125	.539	1.000	.600	-.189	1.000	.432	.350	1.000	.960	-.125	.985	.064	1.000	.554	1.000							
Chirono	-.322	-.266	-.147	-.249	-.147	-.282	-.222	-.147	-.214	-.320	-.147	-.208	-.147	-.186	-.262	-.147	-.240	-.147	1.000						
Tipul	-.143	.189	-.164	.177	.205	.790	-.249	.205	-.037	.806	.205	.440	.945	.347	.579	.205	.925	.205	-.193	1.000					
Macrob	.216	-.012	.101	.282	-.262	-.029	-.122	-.262	-.381	.185	-.262	-.199	.373	-.197	.278	-.262	.142	-.262	-.125	.282	1.000				
Pachy	-.313	-.226	-.125	-.269	-.125	-.240	-.189	-.125	-.182	-.272	-.125	-.177	-.125	-.159	-.223	-.125	-.204	-.125	.986	-.164	-.262	1.000			
Thiari	-.156	-.131	-.204	-.180	.157	.353	.533	.157	.912	-.033	.157	.226	-.204	.108	-.272	.157	-.089	.157	-.240	-.149	-.398	-.204	1.000		
Hydrobi	.232	-.226	-.125	-.269	-.125	-.240	-.189	-.125	-.182	-.272	-.125	-.177	-.125	-.159	-.223	-.125	-.204	-.125	-.147	-.164	-.171	-.125	.157	1.000	
Physi	-.210	-.098	-.156	-.135	.125	.390	.614	.125	.949	.029	.125	.215	-.156	.088	-.207	.125	-.065	.125	-.184	-.113	-.327	-.156	.948	-.156	1.000

Anexo No.2 Correlación de familias de macroinvertebrados dentro de los sitios muestreados en cuenca media del río Polochic.

(Trabajo de campo, 2015).