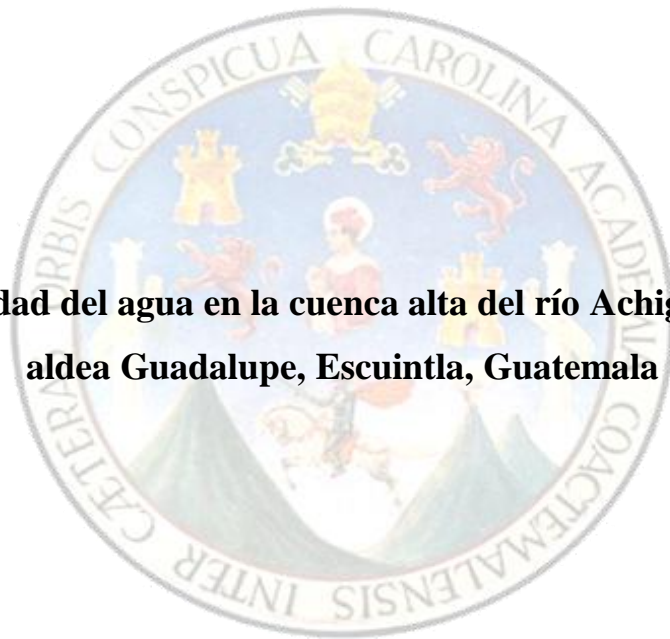


**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Calidad del agua en la cuenca alta del río Achiguate,  
aldea Guadalupe, Escuintla, Guatemala**



**Presentado por:**

**T. A. Rocío Chán Escobar**

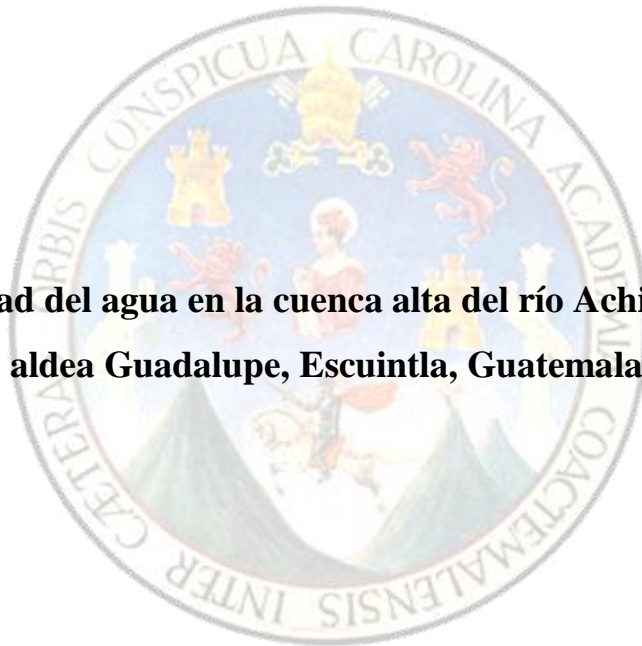
**Para otorgarle el título de  
Licenciada en Acuicultura**

**Guatemala, noviembre de 2018**

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

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Calidad del agua en la cuenca alta del río Achiguate,  
aldea Guadalupe, Escuintla, Guatemala**



**Presentado por:**

**T. A. Rocío Chán Escobar**

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

**Asesor: Lic. José Roberto Ortíz**

**Guatemala, noviembre de 2018**

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 **Rocío Chán Escobar**, titulado “Calidad del agua en la cuenca alta del río Achiguate, aldea Guadalupe, Escuintla, Guatemala”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle



Guatemala, mayo 2018

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA-, después de conocer el dictamen del asesor Lic. José Roberto Ortíz, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria **Rocío Chán Escobar**, titulado “Calidad del agua en la cuenca alta del río Achiguate, aldea Guadalupe, Escuintla, Guatemala”, da por este medio da su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
M.Sc. Luis Francisco Franco-Cabrera



Guatemala, mayo 2018

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

**Consejo Directivo**

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Moran
Secretaria	M. Sc. Irene Franco Arenales
Representantes Docentes	Dr. Pedro Julio García Chacón M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Representante del Colegio de Médicos Veterinarios, Zootecnistas y Acuicultores	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representantes Estudiantiles	T.A. Alejandra Raquel Contreras Perdomo T.A. Karol Rubí Rivas Díaz

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor, Lic. José Roberto Ortiz, por transmitirme sus conocimientos y brindarme su apoyo durante mis actividades de investigación.

A la Licda. Becky, por su asesoría en el uso adecuado del equipo de análisis del laboratorio de calidad del agua.

A mi padre, porque además de ser un gran papá me brindó su asesoría en la elaboración de este documento.

A mi hermana María del Carmen, a mi hermano Ricardo Alberto y a mi novio José Ramon, por ayudarme en la limpieza e identificación de mis muestras de macroinvertebrados.

A la Granja Acuícola Doña Tila del Grupo El Tesoro S.A., por prestarme su apoyo durante la recolección de las muestras.

## **ACTO QUE DEDICO**

A mi Diosito lindo por su inmenso amor, por permitirme culminar esta etapa de mi vida al lado de mis seres queridos y por darme las fuerzas para lograrlo.

A mi padre, Dr. Miltón Leonel Chán Santisteban y a mi madre, Licda. Zuly Judith Sandoval Escobar, por su esfuerzo, sacrificio y su gran paciencia conmigo, gracias por darme esta oportunidad.

A mis hermanas, María Del Carmen Chán Escobar y Adriana Chán Escobar y a mi hermano Ricardo Alberto Chán Escobar, por su apoyo incondicional, su compañía y cariño.

A mi novio José Ramon González Marcucci, por motivarme a seguir adelante, por su gran apoyo durante mis estudios y su amor incondicional.

A mis amigos y amigas que el día de hoy están compartiendo conmigo, gracias por formar parte de mi vida, Marisabel Boy Castillo, Ana Elisa Morales Money, María Laura Fernández Morales, Alejandra Paz, Diego Andrés Gomes, Johannes Pérez Brückweh, Rodrigo Gutiérrez, Luis Pedro García Arroyave, Maria José Mendoza Arzú y Brian Alejandro Fabián, los quiero mucho.

## RESUMEN

En la cuenca alta del río Achiguate se desarrollan actividades que utilizan el recurso hídrico, tales como la agricultura, ganadería, acuicultura y uso doméstico. Como producto de estas actividades, se vierten aguas residuales al cauce del río, por lo que se presume que su calidad puede estar siendo alterada, lo que limita su uso para diversos fines.

La presente investigación se llevó a cabo en la cuenca alta del río Achiguate, entre las coordenadas 14°24'08.7" latitud norte 90°52'46.3" longitud este y 14°22'04.7" latitud norte 90°51'59.1" longitud este, aldea Guadalupe, Escuintla, con el objetivo de determinar la calidad del agua de la cuenca mediante el uso de parámetros físicos, químicos y biológicos.

Se realizaron cuatro muestreos entre abril y julio de 2017 en seis sitios del río. Se midieron variables fisicoquímicas *in situ*, y se tomaron muestras de agua para su análisis de laboratorio, y de macroinvertebrados acuáticos. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-. También se tomaron muestras de agua para determinar coliformes fecales, cuyos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR- de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad San Carlos de Guatemala -USAC-.

Para el análisis de la información se utilizaron índices para determinar la calidad del agua del río y estadística descriptiva. Se determinó el estado del entorno ecológico, las concentraciones de las variables fisicoquímicas y de coliformes fecales y el ensamble de familias de macroinvertebrados acuáticos durante los meses muestreados. La cuenca alta del río se dividió en dos partes: parte alta (P1-3) y la parte baja (P4-6).

En relación con la evaluación de la calidad del hábitat (RBP-Atitlán), el entorno ecológico de los sitios que se encuentran antes de los asentamientos humanos mostraron un mejor estado de conservación, en comparación con los sitios ubicados después de los centros poblados. Por otro lado, las concentraciones de nutrientes y de coliformes fecales no fueron aceptables para la conservación del agua tanto en la PA como en la PB, siendo los sitios que se encuentran después de la aldea Guadalupe los que tienen mayor aporte de estas variables.

Se lograron identificar 36 familias de macroinvertebrados, de las cuales las más abundantes fueron Thiaridae, Hydropsychidae y Elmidae. Los índices IBF-SV2010 y el BMWP-Atitlán demostraron al igual que el RPB-Atitlán que la PA posee una mejor calidad del agua comparada con la PB. Además, el análisis multivalente de componentes principales establece que las variables fisicoquímicas de contaminación se asocian principalmente a los puntos que se encuentran en la PB del río al igual que las familias de macroinvertebrados.

Los resultados establecen que el estado de conservación del agua de la cuenca alta del río Achiguate de acuerdo a los valores obtenidos de las variables fisicoquímicas, la presencia de coliformes fecales, condición del hábitat ribereño y la composición del ensamble de familias de macroinvertebrados revelan que la PA de la cuenca del río, principalmente los puntos de muestreo que se encuentran antes de la aldea Guadalupe (P1 y P2), presenta mejores condiciones para mantener la calidad ambiental y la conservación del medio ambiente, debido a que estos son sitios que poseen mayor cobertura vegetal y reciben menor influencia del ser humano. Mientras que los sitios ubicados después de la comunidad (P4 - P6) poseen mayor perturbación en el medio acuático, debido al desarrollo de diversas actividades antropogénicas, además de ser sitios que se encuentran con mayor vulnerabilidad a la incidencia de lluvias por encontrarse deforestados, provocando que al cauce del río lleguen productos alóctonos mediante las escorrentías.

## ABSTRACT

In the high basin of the Achiguate River, activities that use water resources are developed, such as agriculture, livestock, aquaculture and domestic use. As a result of these activities, wastewater is discharged into the river bed, so it is presumed that its quality may be being altered, which limits its use for various purposes.

The present investigation was carried out in the upper basin of the Achiguate River, between the coordinates  $14^{\circ} 24'08.7''$  north latitude  $90^{\circ} 52'46.3''$  east longitude and  $14^{\circ} 22'04.7''$  north latitude  $90^{\circ} 51' 59.1''$  east longitude, Guadalupe village, Escuintla, with the objective of determining the water quality of the basin through the use of physical, chemical and biological parameters.

Four samplings were conducted between April and July 2017 in six sites of the river. In situ physicochemical variables were measured, and water samples were taken for laboratory analysis and aquatic macroinvertebrates. The analyzes were carried out in the Laboratory of Biological and Oceanographic Sciences of the Center for Sea Studies and Aquaculture - CEMA-. Water samples were also taken to determine fecal coliforms, whose analysis was carried out in the Reference Microbiological Laboratory -LAMIR- of the Faculty of Chemical Sciences and Pharmacy of the San Carlos University of Guatemala -USAC-.

For the analysis of the information, indices were used to determine the quality of the river water and descriptive statistics. The state of the ecological environment, the concentrations of the physicochemical and fecal coliform variables and the assembly of families of aquatic macroinvertebrates during the sampled months were determined. The upper basin of the river was divided into two parts: upper part (P1-3) and lower part (P4-6).

In relation to the evaluation of habitat quality (RBP-Atitlán), the ecological environment of the sites that are located before the human settlements showed a better state of conservation, in comparison with the sites located after the population centers. On the other hand, fecal coliform and nutrient concentrations were not acceptable for water conservation in both the

PA and the PB, being the sites that have greater contribution of these variables after the Guadalupe village.

It was possible to identify 36 families of macroinvertebrates, the most abundant families were Thiaridae, Hydropsychidae and Elmidae. The IBF-SV2010 and the BMWP-Atitlán indexes showed, just like the RPB-Atitlán, that PA has better water quality compared to PB. In addition, the multivalent analysis of main components establishes that the physicochemical variables of contamination are associated mainly to the points that are in the PB of the river as well as the families of macroinvertebrates.

The results establish that the water conservation status of the upper Achiguate river basin according to the values obtained from the physicochemical variables, the presence of fecal coliforms, the condition of the riparian habitat and the composition of the assemblage of families of macroinvertebrates reveal that the PA of the river basin, mainly the sampling points that are located before Guadalupe village (P1 and P2), presents better conditions to maintain the environmental quality and the conservation of the environment, because these are sites that have higher vegetable cover and receive less influence of the human being. While the sites located after the community (P4 - P6) have greater disturbance in the aquatic environment, due to the development of various anthropogenic activities, in addition to being sites that are more vulnerable to the incidence of rainfall because they are deforested, causing that allochthonous products reach the river bed by means of runoff.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
3.1. Cuenca hidrográfica.....	6
3.1.1. Clasificación de las cuencas .....	6
3.1.2. División de las cuencas.....	6
3.2. Sistemas lóticos.....	6
3.3. Hidrología de Guatemala .....	6
3.4. Calidad del agua.....	7
3.4.1. Parámetros de la calidad del agua.....	7
3.4.2. Macroinvertebrados acuáticos .....	9
3.4.3. Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos .....	10
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	12
4.1. Objetivo general.....	12
4.2. Objetivos específicos .....	12
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	13
5.1. Ubicación geográfica .....	13
5.2. Definición de variables .....	13
5.3. Puntos y frecuencia de muestreo.....	14
5.4. Descripción de los sitios de muestreo.....	15
5.5. Procedimiento .....	18
5.5.1. Diagnóstico del entorno.....	18
5.5.2. Medición del caudal del río .....	19
5.5.3. Toma de muestras de agua y análisis de parámetros fisicoquímicos .....	19
5.5.4. Muestra de microbiología.....	21
5.5.5. Muestra de macroinvertebrados acuáticos.....	21
5.6. Análisis de información .....	24
5.6.1. Índices bióticos y de calidad del hábitat ribereño.....	24
5.6.2. Riqueza y abundancia.....	26

5.6.3.	Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) .....	26
5.6.4.	Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	26
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>27</b>
6.1	Índice de calidad de hábitat ribereño (RBP/Atitlán).....	27
6.2.	Fisicoquímicos .....	28
6.2.1.	Comportamiento de la temperatura, pH y oxígeno disuelto .....	28
6.2.2.	Comportamiento de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos .....	29
6.2.3.	Comportamiento de los compuestos nitrogenados .....	31
6.2.4.	Comportamiento de los ortofosfatos.....	33
6.2.5.	Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno .....	34
6.3.	Análisis microbiológico de coliformes totales y fecales.....	36
6.4.	Macroinvertebrados acuáticos .....	37
6.4.1.	Riqueza .....	37
6.4.2.	Abundancia.....	38
6.5.	Índices bióticos .....	41
6.5.1.	Índice Biológico a Nivel de Familias –IBF-SV-2010 .....	41
6.5.2.	Biological Monitoring Working Party-BMWP/Atitlán.....	43
6.6.	Análisis Multivariante de Componentes Principales-ACP .....	44
6.7.	Análisis de Correspondencia Canónica (ACC).....	47
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>50</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>51</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del río Achiguate .....	13
Figura 2. Punto de muestreo No 1 cercano al nacimiento .....	15
Figura 3. Punto de muestreo No 2 antes de las comunidades.....	15
Figura 4. Punto de muestreo No 3 después de las comunidades .....	16
Figura 5. Punto de muestreo No 4 antes de actividades agropecuarias .....	16
Figura 6. Punto de muestreo No 5 punto medio de actividades agropecuarias .....	17
Figura 7. Punto de muestreo No 6 después de actividades agropecuarias .....	17
Figura 8. Diagnóstico del entorno ecológico.....	18
Figura 9. Medición de parámetros fisicoquímicos in situ .....	19
Figura 10. Colecta de muestras de agua para análisis en laboratorio .....	20
Figura 11. Análisis de laboratorio de parámetros químicos de las muestras de agua .....	20
Figura 12. Análisis de demanda bioquímica de oxígeno de las muestras de agua .....	21
Figura 13. Colecta de macroinvertebrados acuáticos .....	22
Figura 14. Limpieza de muestras de macroinvertebrados acuáticos .....	23
Figura 15. Comportamiento conjunto de temperatura, oxígeno disuelto y pH: a) Parte alta, b) Parte baja.....	29
Figura 16. Comportamiento conjunto de la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura: a) Parte alta, b) Parte baja.....	30
Figura 17. Comportamiento conjunto del oxígeno disuelto y el nitrógeno total: a) Parte alta, b) Parte baja .....	32
Figura 18. Comportamiento conjunto del oxígeno disuelto y los ortofosfatos: a) Parte alta, b) Parte baja.....	33
Figura 19. Comportamiento conjunto del oxígeno disuelto y demanda.....	35
Figura 20. Análisis de coliformes totales y fecales en la cuenca alta del río Achiguate .....	36
Figura 21. Riqueza de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Achiguate .....	37
Figura 22. Abundancia de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Achiguate.....	38
Figura 23. Abundancia en la parte alta (a) y baja (b) de la cuenca alta del río Achiguate...	39
Figura 24. IBF-SV-2010 para la cuenca alta del río Achiguate, Escuintla .....	42
Figura 25. BMWP/Atitlán para la cuenca alta del río Achiguate, Escuintla .....	43

Figura 26. Ordenamiento de los sitios muestreados con relación a los parámetros fisicoquímicos del agua .....	46
Figura 27. Ordenamiento de los sitios muestreados con relación a los macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los parámetros físicos del agua.....	8
Tabla 2. Descripción de los parámetros químicos del agua .....	8
Tabla 3. Variables físicas, químicas y biológicas de la investigación.....	14
Tabla 4. Tipificación y cuantificación de las muestras en la cuenca alta del río Achiguate	14
Tabla 5. Categorías de la calidad del agua según el resultado del cálculo del IBF .....	24
Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua según el puntaje total del BMWP .....	25
Tabla 7. Clasificación de la calidad del agua según el puntaje total del RPD.....	25
Tabla 8. Índice de calidad de hábitat ribereño.....	27
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos por temporalidad y sitio de muestreo .....	28

# 1. INTRODUCCIÓN

La región centroamericana es reconocida por su abundancia en recursos hídricos, aunque gran parte cuenta con déficit en el acceso al agua y escasez en algunas áreas. Existe poco aprovechamiento del recurso, exceptuando a Costa Rica, en los demás países únicamente aprovecha menos del 10% de su oferta hídrica (Taborá, et. al., 2011). La mayoría de los países de la región cuentan con limitaciones en infraestructura, almacenamiento y regulación del recurso lo que impide potencializar su uso (Agenda Guatemalteca del Agua, 2013). A pesar de que la región centroamericana cuenta con un gran potencial hídrico, la gran mayoría de los cuerpos de agua no cuentan con la calidad adecuada. Esto se debe principalmente a causa del crecimiento demográfico y la falta de control de las descargas generadas, que ejercen mayor presión y provocan que el recurso se vuelva escaso y esencial (Benavides, 2012).

Los ecosistemas acuáticos poseen valores ecológicos, culturales y económicos que proporcionan diversos servicios ecosistémicos. Representa un medio importante de subsistencia ya que dependemos del recurso agua. En el país existen aproximadamente 97 millones de m<sup>3</sup> de agua proveniente de afluentes superficiales y subterráneos (Taborá, et. al., 2011). Sin embargo, en los últimos años la calidad ambiental de los cuerpos de agua ha sido grandemente deteriorada, debido principalmente a factores como la urbanización, el elevado nivel de vida, crecimiento demográfico, la contaminación y el apropiamiento de la distribución del agua, sumado al efecto del cambio climático, que han empeorado y aumentado la presión en los recursos hídricos demográfico (Wirtgen, 2009). Por otro lado, la falta de ordenamiento territorial ha provocado el incremento en las descargas residuales y generación de desechos (Padilla, García, y Pérez, 2010).

Debido al deterioro de los afluentes es imprescindible la determinación de la calidad del agua, principalmente para reducir los riesgos en el consumo humano, ya que todas sus actividades se encuentran relacionadas a la existencia del agua tanto en calidad como en cantidad. Para determinar el estado de la calidad del agua, comúnmente se han realizado monitoreos sistemáticos, que tienen por objetivo desarrollar acciones para el control y

mitigación de las alteraciones que presenten los cuerpos de agua a manera de proteger y conservar el recurso (Roldán, 1999).

Para la evaluación de la calidad ambiental del agua se utilizan parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que proveen información precisa, pero costosa desde el punto de vista económico. Estos determinan características del agua en el momento en que las muestras fueron tomadas, y no permiten observar sus variaciones por periodos prolongados. Una alternativa a los métodos tradicionales es utilizar bioindicadores que se caracterizan por ser de bajo costo, permiten una visión integral y retrospectiva de las propiedades del medio acuático por lo que la mayoría de los investigadores los consideran como los mejores indicadores de calidad del agua (Gamboa, Reyes, y Arrivillaga, 2008). Entre los grupos de bioindicadores acuáticos, los macroinvertebrados destacan sobre otros taxones debido a que son organismos observables a simple vista, presentan ciclos de vida relativamente largos y poseen adaptaciones morfológicas que les permiten desarrollarse en diferentes condiciones de medio acuático.

Existe muy poca información sobre el estado de la calidad del recurso hídrico en Guatemala, la mayoría se encuentra desactualizada, o suele ser escasa, por lo que el principal objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del agua de la cuenca alta del río Achiguate, mediante el uso de indicadores biológicos y fisicoquímicos del ecosistema. Con lo anterior se pretende brindar estrategias de manejo para preservar los recursos hídricos que se encuentran dentro de la cuenca alta del río.

## 2. ANTECEDENTES

Una de las primeras indagaciones que se realizaron en la cuenca del río Achiguate describe sus principales características físicas, bióticas y socioeconómicas, en la cual obtuvo la diferenciación de tres regiones fisiográficas: tierras altas volcánicas (parte alta), pendiente volcánica reciente (parte media), y la llanura costera del Pacífico (parte baja) que presentó mayor contraste entre las características evaluadas (Reyes, 1982). La información fue recolectada de fuentes secundarias como estudios realizados por instituciones nacionales, así como de la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y mapas topográficos de la región.

A pesar de que la parte alta en su mayoría se considera no apta para cultivos agrícolas, es la más explotada de la cuenca. Cultivándose maíz y frijol, por lo mismo es la parte de la cuenca que presenta mayores problemas en cuanto al deterioro de los recursos naturales renovables. Los principales problemas del área son debido al mal manejo e inadecuado uso de la tierra causantes de erosión y escorrentía superficial. Desde este entonces ya se proponía el manejo adecuado del agua y suelo (Reyes, 1982). En la cuenca del río Achiguate-Guacalate un estudio identificó las principales amenazas que podrían ocurrir dentro de la cuenca con la cual se elaboró una propuesta para la reducción del riesgo a desastres (Anleu, 2008).

También existe un levantamiento semi detallado de los suelos de la cuenca del río Achiguate en el que se delimita el suelo y se clasifica de acuerdo con la Sistemática Americana y establece el uso y la capacidad de uso del suelo según el Manual 210 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. En este se encontró que la parte alta del río Achiguate se encuentra principalmente compuesta por material geológico y policíclicos que contienen abundante material vegetativo en descomposición (Lavarreda, 1987).

Dentro de la cuenca del río Achiguate las principales investigaciones desarrolladas se han enfocado en la composición de los suelos y en planes de manejo y gestión del territorio. En

el área se carece de estudios recientes relacionados a la caracterización de la calidad del agua de la cuenca.

A nivel nacional se han realizado investigaciones relacionadas con el recurso hídrico orientadas a determinar la calidad del agua para consumo humano, como la realizada en Guazacapan, Santa Rosa que se basa en la composición de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos (Roldán, 2006). De igual forma se realizó un trabajo similar en el cauce principal del río Motagua (Torres, 2008). Ambas investigaciones determinaron que el agua para ese entonces no era apta para consumo humano por la elevada concentración de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* según la Norma Coguanor NGO 29001 para agua potable.

Un estudio de calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del río Villalobos, evidencia que dicho río es la principal fuente de contaminación que contribuye al deterioro la calidad de agua del lago de Amatitlán ya que todos los parámetros analizados se encontraran por encima de los recomendados (Gil, 2008).

Se han implementado métodos biológicos para determinar la calidad del agua de los cuerpos de agua, uno de ellos utiliza el análisis de correspondencia canónica para relacionar variables fisicoquímicas del ecosistema acuático con la diversidad y abundancia de macroinvertebrados como el realizado en el río Pumpay y Pansalic-Panchiguajá, en el que se determinó que estos organismos tienden a distribuirse en diferentes hábitats según sea la concentración de oxígeno y nutrientes (Zelada, 2012).

De igual manera los estudios realizados para la determinación de la composición y estructura de comunidades de macroinvertebrados bentónicos y su relación con factores ambientales en condiciones naturales y alteradas en los ríos: río Barreneché, río La Catarata, río La Labor, río Panasacar, río Chicansanres, río Paxicom, río Xibalbay, río Argueta, río Cojolyá encontrando que la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados están influenciadas por perturbación antropogénica (Reyes, 2012).

Una de las principales herramientas utilizadas para determinar la calidad del agua mediante el uso de bioindicadores, han sido los índices bióticos. En Guatemala se han realizado investigaciones mediante la aplicación de dichos índices en cuerpos de agua como el río Quiscab, Sololá. Los índices utilizados fueron el BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party adaptado para Costa Rica) y el EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera); con los que se obtuvieron valores de calidad (en base al grado de contaminación) regular en la parte alta y media de la cuenca para ambos índices y valores de calidad regular, mala y muy mala para la parte baja de la cuenca en ambos índices (Acuña, 2013).

En la cuenca de lago de Atitlán se evaluó la calidad del agua de los ríos Tzalá y Tzununá, se calculó el índice de calidad del agua (ICA) y el índice BMWP-Atitlán, para determinar el nivel de contaminación, revelando que el río Tzununá es el menos impactado por actividades (Arriola, 2014).

En los principales afluentes del lago de Atitlán en los ríos Quiscab y San Francisco se realizó un estudio sobre la calidad del agua donde se midieron los parámetros fisicoquímicos para calcular el Índice de Calidad del Agua-ICA (de El Salvador), se evaluó la presencia y cantidad de macroinvertebrados acuáticos y se calculó el Índice Biológico por Familias de El Salvador (IBF-SV-2010). Estos dos ríos presentaron valores de ICA y de IBF-SV regular y regular pobre (Gil, 2015).

El estudio de la calidad del agua realizado en la cuenca media del río Polochic basado en la diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos comparados con las variables fisicoquímicas de los sitios muestreados, demostraron que la calidad del agua en los sitios de muestreo fue: de buena calidad para la Tinta, moderadamente buena en Telemán y contaminada para Pánzos. Mientras que la abundancia y distribución de las familias de macroinvertebrados se encuentra influenciada por las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos (Leal, 2016). De igual manera el estudio realizado en el río Pancochá, en el que se determina que el río se encuentra en malas condiciones de calidad del agua utilizando como indicadores biológicos macroinvertebrados acuáticos (López, 2016).

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Cuenca hidrográfica

Es el espacio de terreno limitado por su topografía en las partes más altas de las montañas, laderas y colinas formando un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un punto en común ya sea en un río, lago o al mar, ubicado en una zona más baja. El instrumento que se utiliza para la delimitación de las cuencas son cartas altimétricas, en las que se marca la división de las aguas o parte aguas (Faustino, y Jiménez, 2000; Mass, 2015).

##### 3.1.1. Clasificación de las cuencas

Según el sistema de drenaje y su conducción final, las cuencas hidrográficas se pueden clasificar en: arréicas, exorréicas, criptorréicas y endorreicas (Faustino, y Jiménez, 2000).

##### 3.1.2. División de las cuencas

Las cuencas se pueden dividir en parte alta, media y baja, y se realiza en función a características de relieve, altura y aspectos climatológicos (Faustino, y Jiménez, 2000).

#### 3.2. Sistemas lóticos

Los ecosistemas acuáticos de aguas corrientes o lóticas, del latín *lotus*, participio de *lavere*: lavado), se encuentran conformados principalmente por ríos, riachuelos, arroyos y quebradas (Roldán, y Ramírez, 2008; Sánchez, Guerrero, y Castellanos, 2005). Se caracterizan por ser ecosistemas y/o hábitat de agua corriente, las dimensiones de su cauce, presencia de piedras y fondos rocosos y la forma de la orilla (Roldán, y Ramírez, 2008).

#### 3.3. Hidrología de Guatemala

Las tres regiones hidrográficas de Guatemala están delimitadas por los sistemas montañosos del país, las cuales se conocen con el nombre de vertientes (Suarez, 2011).

La vertiente del Pacífico cuenta con mayor cantidad de ríos, que se caracterizan por tener ríos cortos y curso rápido. La vertiente que posee más área geográfica (47% del territorio nacional) y cuenta con mayor disponibilidad hídrica es la del Golfo de México. Los ríos

que desembocan en la vertiente del Atlántico suelen ser extensos y profundos (Suarez, 2011).

Dentro de las 18 cuencas de la vertiente del Pacífico se encuentra la del río Achiguatate, con una extensión de 1, 291 km<sup>2</sup> que representa un 5% de la vertiente. Para el 2006 la cuenca aportaba un total de 1,584 m<sup>3</sup> de agua y su caudal era de 50.23 m<sup>3</sup>/s (Suarez, 2011).

### 3.4. Calidad del agua

La calidad del agua se refiere al grupo de cualidades del agua como: concentraciones, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición y estado de la biota encontrada en el cuerpo de agua, para su uso beneficioso. Esta presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores internos y externos del cuerpo de agua (Campos, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008).

El anterior término se encuentra relacionado con el concepto de contaminación del agua ya que las alteraciones negativas en dichas características del agua causan su decadencia o deterioro (Campos, 2003).

Se entiende por contaminación del agua (del latín contaminare, que significa mezclar, infectar, ensuciar, manchar) a la introducción por el ser humano y sus actividades, directa o indirecta, de sustancias o energía alóctonas, que da por resultado efectos negativos como: daño de recursos vivos, a la salud humana, impedimento de la realización de actividades acuáticas o del uso del agua para actividades agrícolas, industriales, domésticas (Campos, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008).

#### 3.4.1. Parámetros de la calidad del agua

En base a los dos anteriores términos se puede describir la calidad del agua mediante mediciones cuantitativas, como las mediciones fisicoquímicas o pruebas bioquímicas, también mediante descripciones semi-cuantitativas o cualitativas, como índices bióticos, aspectos visuales, inventarios de especies, olor, que son determinados en laboratorios o en el campo y sus resultados son utilizados por diferentes técnicas de interpretación (Campos, 2003).

- a) Parámetros físicos: Estos parámetros son los que responden a los sentidos del tacto, olfato y gusto. Los más utilizados son: sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura (Campos, 2003) (Tabla 1).

*Tabla 1.* Descripción de los parámetros físicos del agua

Parámetro físico del agua	Descripción del término
Sólidos suspendidos	Partículas orgánicas e inorgánicas, así como líquidos inmiscibles.
Turbiedad	Mide el grado en que la luz es absorbida o reflejada por el material suspendido.
Color	Coloración de los sólidos suspendidos (aparente), y de los sólidos disueltos (verdadero).
Sabor y olor	Fuentes pueden ser minerales, metales, sales del suelo, productos finales de reacciones biológicas, y aguas residuales domésticas o industriales.
Temperatura	Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible.

Fuente: Campos, 2003.

- b) Parámetros químicos: Están relacionados con la capacidad de solvencia del agua. Para su determinación se necesita de análisis de laboratorio donde se realizan pruebas específicas. Los más importantes son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales, sustancias orgánicas y nutrientes (Campos, 2003) (Tabla 2).

*Tabla 2.* Descripción de los parámetros químicos del agua

Parámetros químicos del agua	Descripción del término
Sólidos disueltos	Materiales que permanecen en el agua luego de ser filtrada.
Alcalinidad	Medida de la cantidad de iones que se encuentran presentes en el agua, que reaccionan para neutralizar los iones del hidrógeno.

Dureza	Concentración de cationes metálicos multivalentes en solución, pueden ser carbonatados o no carbonatados.
Metales	Son elementos que se encuentran en el agua y se clasifican según su efecto sobre el ser humano en: tóxicos (plomo, mercurio, cadmio, arsénico y zinc) y no tóxicos (sodio, hierro, manganeso).
Elementos orgánicos	Estos se clasifican según se degradación en biodegradables o no. (Demanda bioquímica de Oxígeno-DBO y Demanda Química de Oxígeno-DQO).
Nutrientes	Los nutrientes más importantes en calidad del agua son: nitrógeno y fósforo.

---

Fuente: Campos, 2003.

- c) **Parámetros biológicos:** Se determina mediante la presencia o ausencia de organismos vivos en el agua, utilizando índices biológicos o mediante la medición de la concentración de agentes patógenos causantes de infecciones o transmisores de enfermedades (Campos, 2003). Estos organismos que habitan en los cuerpos de agua pueden indicar la calidad del agua debido a que presentan diferentes rangos de tolerancia a la contaminación en su hábitat.

#### 3.4.2. Macroinvertebrados acuáticos

Se refiere organismos que se pueden observar a simple vista, que tienen tamaños superiores a 0.5mm de largo. Dentro de esta categoría se encuentran los poríferos, hidozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos (Roldán, y Ramírez, 2008).

### 3.4.3. Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Odonata

La mayoría vive sobre el fondo o la vegetación sumergida, todos son acuáticos en sus etapas inmaduras. Las ninfas se reconocen por tener un labio altamente modificado debajo de la cabeza que utilizan para atrapar a sus presas (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Trichoptera

Pueden vivir en diversos tipos de cuerpos de agua dulce, algunos usan seda para armar casas de piedra, material vegetal o conchas de caracoles o la pueden usar para filtrar el agua. Se caracterizan por tener un solo par de propatas al final del abdomen con una sola uña (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Ephemeroptera

Son organismos relativamente primitivos, es un orden exclusivamente acuático, y se diferencia de los demás insectos por poseer un estadio terrestre volador antes de alcanzar la madurez sexual. Son hemimetábolos por lo que el estadio inmaduro (ninfa) puede durar desde unas pocas semanas hasta un año o más en su desarrollo (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Hemiptera

Se reconocen por sus piezas bucales en forma de pico, la mayoría de las especies de este orden son depredadoras (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Diptera

En contraste con los insectos y los crustáceos, estos tienen un número variable de patas (dependiendo del grupo) y tienen dos pares de antenas, aunque un par puede ser muy reducido (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Coleoptera

Las pupas generalmente son terrestres (excepto en Noteridae). Los escarabajos acuáticos habitan en casi todos tipos de agua dulce, su biología es muy diversa y las larvas son muy variables en su morfología (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Lepidoptera

Casi todos los lepidópteros son terrestres y las únicas especies con larvas y pupas acuáticas son los miembros de la subfamilia Nymphulinae (Crambidae). Las larvas de esta subfamilia viven en casitas en plantas acuáticas o sobre rocas en áreas de corriente, donde construyen túneles de tela y se alimentan de algas; algunas respiran del aire y otras tienen branquias (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Plecoptera

Su nombre se deriva de las palabras plecos que significa plegar y pteros se refiere a las alas, son comúnmente conocidas como moscas de las piedras. Las ninfas se reconocen por tener dos cercos terminales, branquias torácicas y un par de uñas en cada pata. Por su morfología se suelen confundir con el orden Ephemeroptera (Hanson, et. al., 2010).

Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Megaloptera

Todas las etapas larvales son acuáticas, parecidas a las del orden Coleoptera. Se divide únicamente en dos familias: Corydalidae son grandes y viven principalmente en aguas con corriente mientras que los Sialidae son más pequeños y habitan en varios tipos de agua con sedimentos blandos. Las larvas de ambas familias son depredadoras y las pupas son terrestres (Hanson, et. al., 2010).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

Determinar la calidad del agua de la cuenca alta del río Achiguate mediante parámetros físicos, químicos y biológicos.

### 4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el entorno ambiental de los puntos de muestreo de la cuenca alta del río Achiguate.
- Evaluar las variables fisicoquímicas y de coliformes fecales de la cuenca alta del río Achiguate.
- Describir la composición del ensamble de macroinvertebrados acuáticos de la cuenca alta del río Achiguate.
- Establecer la relación entre la presencia de los grupos de macroinvertebrados acuáticos con los parámetros fisicoquímicos de la cuenca alta del río Achiguate.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Ubicación geográfica

La cuenca alta del río Achiguate se encuentra ubicada en la aldea Guadalupe municipio de Escuintla, Escuintla, en la vertiente del Océano Pacífico, al suroeste de Guatemala (Figura 1). El río continua su recorrido a lo largo de los municipios de Escuintla: Democracia, Masagua y San José hasta desembocar en el Océano Pacífico de Guatemala (Anleu, 2008).

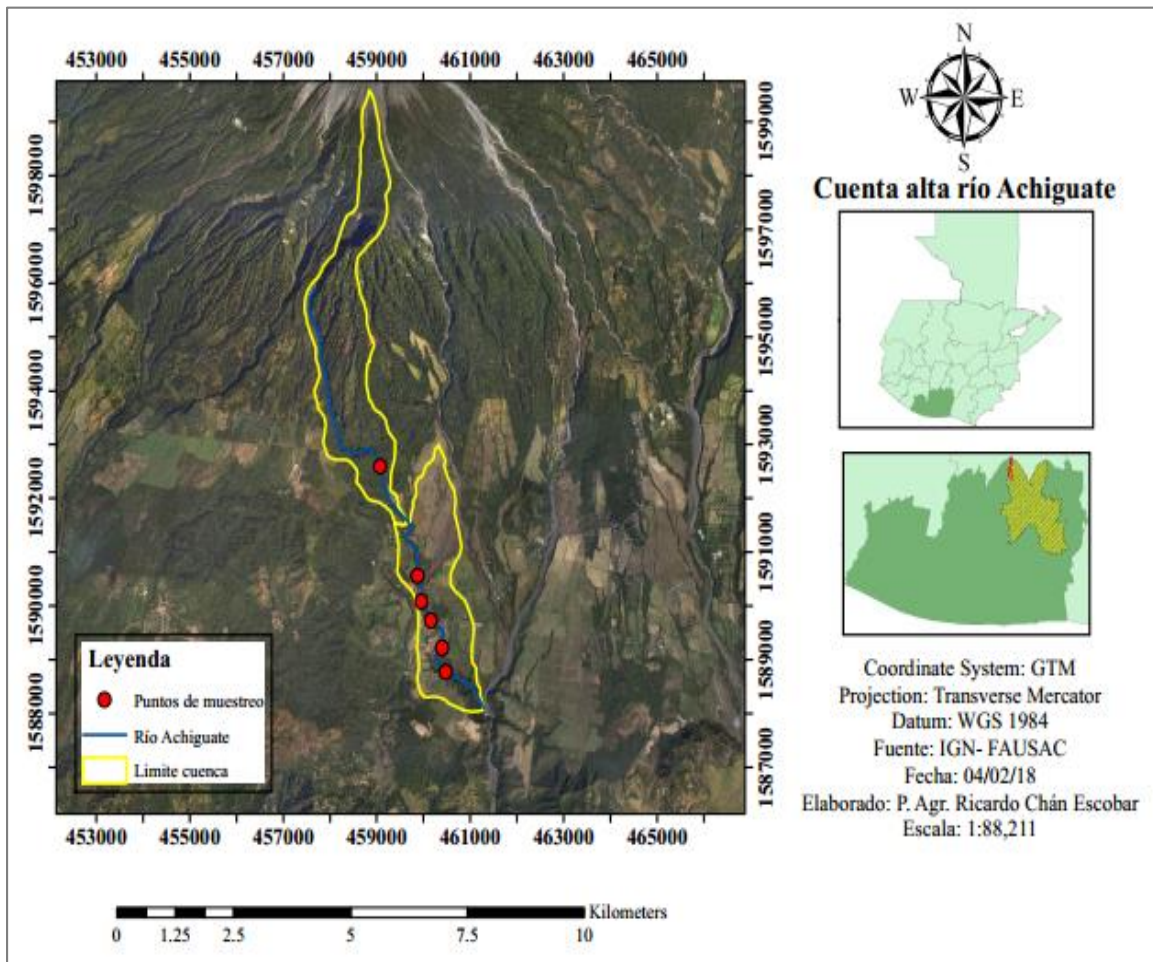


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca alta del río Achiguate

### 5.2. Definición de variables

Para determinar el estado de la calidad del agua de la cuenca alta del río Achiguate, se evaluaron las siguientes variables físicas, químicas y biológicas (Tabla 3):

*Tabla 3. Variables físicas, químicas y biológicas de la investigación*

Variable	Indicador
Oxígeno disuelto (OD)	mg/l
Temperatura	°C
Conductividad eléctrica	μS/cm <sup>2</sup>
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades de pH
Sólidos totales disueltos (TDS)	mg/l
Caudal	m <sup>3</sup> /s
Ortofosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	mg/l
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> )	mg/l
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	mg/l
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup> )	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l
Coliformes totales y fecales	NMP/100 ml
Macroinvertebrados acuáticos	Familia

### 5.3. Puntos y frecuencia de muestreo

Se realizaron cuatro muestreos mensuales en la cuenca alta del río Achiguate, iniciando en el mes de abril y concluyendo en julio del 2017. Se establecieron seis puntos a lo largo del tramo principal del río, los cuales fueron seleccionados a criterio del investigador, tomando en cuenta el grado de perturbación en el medio ambiente y el agua. En los seis puntos de muestreo se tomaron muestras de: descripción del entorno ambiental, macroinvertebrados acuáticos, parámetros del agua y microbiología (Tabla 4).

*Tabla 4. Tipificación y cuantificación de las muestras en la cuenca alta del río Achiguate*

Tipo de muestra	Cantidad por muestreo	Total de muestras
Macroinvertebrados acuáticos	6	24
Parámetros fisicoquímicos	10	40
Coliformes fecales	6	12
Entorno ambiental	6	24
Total	28	100

#### 5.4. Descripción de los sitios de muestreo

- a) Cercano al nacimiento (Punto 1): El primer punto se encuentra ubicado en la parte más alta y cercana al nacimiento del río, a una altitud sobre el nivel del mar de 940 m, a una latitud  $14^{\circ}24'08.7''$  al norte y una longitud de  $90^{\circ}52'46.3''$  al este. Este punto se caracterizó por presentar abundante vegetación ribereña, ya que se encuentra cerca de las faldas del volcán, lejos de la civilización, por lo que el grado de perturbación es mínimo, es un punto de aguas cristalinas, el cual se aprovecha para la recreación (Figura 2).



*Figura 2.* Punto de muestreo No 1 cercano al nacimiento

- b) Antes de las comunidades (Punto 2): Este punto es la zona de transición entre la parte alta y la comunidad, donde la vegetación ribereña es menor y el ancho del río aumenta, el agua de igual manera es cristalina, pero ya presenta grado de perturbación antropogénica, se encuentra a 745 msnm, coordenadas geográficas N  $14^{\circ}23'02.7''$  y W  $90^{\circ}52'19.3''$  (Figura 3).



*Figura 3.* Punto de muestreo No 2 antes de las comunidades

- c) Después de las comunidades (Punto 3): Este punto se encuentra ubicado con las coordenadas geográficas N 14°22'47.0" y W 90°52'16.6", a 708 msnm, localizado luego de las comunidades: aldea Guadalupe y el caserío Santa Marta, por lo que el grado de perturbación en el río es mayor, se caracteriza por sus aguas turbias con mal olor, restos de basura y muy poca vegetación predominado por gramíneas y arbustos, deposición de sedimentos y la profundidad del río es mayor al igual que la velocidad del flujo del agua (Figura 4).



*Figura 4.* Punto de muestreo No 3 después de las comunidades

- d) Antes de actividades agropecuarias (Punto 4): Este es el punto de transición entre la zona habitada por comunidades y la zona de actividad agropecuaria, donde la vegetación que prevalece son las gramíneas y el fondo del río es arenoso, punto en donde el cauce es constantemente alterado, el terreno no es tan inclinado como en los otros puntos. Se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 677 m, siendo sus coordenadas geográficas latitud N 14°22'35.8" y longitud W 90°52'0.9" (Figura 5).



*Figura 5.* Punto de muestreo No 4 antes de actividades agropecuarias

- e) Punto medio de actividades agropecuarias (Punto 5): El agua de este punto presenta mal olor y turbidez, bancos de sedimentación, la profundidad es mínima pero la velocidad del flujo es alto, debido que el agua es captada para las actividades agropecuarias, y la vegetación es mínima pero más variada. Esta localizado en la latitud N 14°22'19.1" y longitud W 90°52'01.9" a 635 msnm (Figura 6).



*Figura 6.* Punto de muestreo No 5 punto medio de actividades agropecuarias

- f) Después de actividades agropecuarias (Punto 6): Se encuentra ubicado a 612 msnm en las coordenadas geográficas latitud N 14°22'04.7" y longitud W 90°51'59.1". El cauce del río es mayor, al igual que la velocidad del flujo de agua y la profundidad, el agua es turbia y con mal olor, en este punto la vegetación aumenta considerablemente (Figura 7).



*Figura 7.* Punto de muestreo No 6 después de actividades agropecuarias

## 5.5. Procedimiento

### 5.5.1. Diagnóstico del entorno

En los sitios de muestreo se procedió a tomar datos del entorno mediante la evaluación visual con ayuda de boletas que toman en cuenta diez ítems relacionados con las características del hábitat ribereño (Figura 8). Cada elemento fue debidamente ponderado según el criterio del evaluador de 1 a 20 siendo el primero el de menor ponderación y por consiguiente en medida que aumenta también su valoración indicando el buen estado del entorno (Anexo 1).



*Figura 8.* Diagnóstico del entorno ecológico

El protocolo que se utilizó fue una adaptación realizada por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno -Amsclae- del Rapid Bioassessment Protocols For Use In Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Este evalúa la condición del cuerpo de agua utilizando encuestas biológicas y otras mediciones directas de la biota residente en los cuerpos de agua superficiales (Barbour, Gerritsen, Snyder, y Stribling, 1999).

### 5.5.2. Medición del caudal del río

Se registró el caudal mediante la medición in situ en cada punto de muestreo (Anexo 2). El procedimiento que se realizó fue mediante el método de Área-velocidad o del flotador (Figura 10), en la cual consiste en medir la velocidad del agua en una sección de la quebrada o río para ello se aplicó la siguiente fórmula (Rojas, 2006):

$$Q = \sum A_s * v$$

Donde:

Q= caudal

v= velocidad

$\sum A_s$ =Sumatoria de las áreas de las secciones

### 5.5.3. Toma de muestras de agua y análisis de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno y sólidos disueltos totales, se midieron in situ en cada punto de muestreo, mediante una sonda multiparamétrica (Hanna 3210i) (Figura 9)



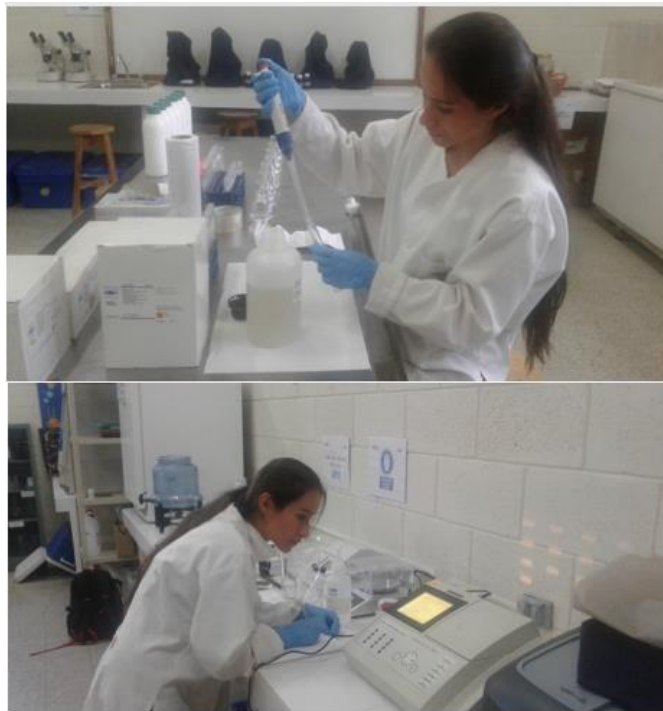
*Figura 9.* Medición de parámetros fisicoquímicos in situ

La colecta de las muestras para análisis de parámetros químicos se tomó en botellas L-algrin de un litro de capacidad. Previo a la colecta de la muestra, la botella fue enjuagada tres veces con agua del sitio de muestreo, posteriormente la muestra fue tomada, llenando la totalidad de la botella (Figura 10).



*Figura 10.* Colecta de muestras de agua para análisis en laboratorio

Las muestras se trasladaron en hieleras a las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad San Carlos de Guatemala (USAC), para determinar las concentraciones de los parámetros químicos: nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos y  $\text{DBO}_5$  (Figuras 11 y 12).



*Figura 11.* Análisis de laboratorio de parámetros químicos de las muestras de agua



*Figura 12.* Análisis de demanda bioquímica de oxígeno de las muestras de agua

Para la determinación de los parámetros químicos se utilizó la metodología establecida por Standard Methods (Eaton, Clesceri, Rice, y Greenberg, 2005) que utiliza kits fotométricos y el espectrofotómetro marca UV-VIS Spectroquant Pharo 300. En el análisis de los parámetros de nitratos se utilizó el kit comercial Merck 1.09713.0001, para los nitritos se utilizó el kit comercial Merck 1.14776.0001, con el de amonio el kit comercial Merck 1.14752.0001 y el de fosfatos utilizó el kit comercial Merck 1.14729.0001. Mientras que para la determinación de la demanda biológica de oxígeno se utilizó el sistema de medición respirométrico (OxiTop) para la medición de autodiagnóstico de  $DBO_5$ .

#### 5.5.4. Muestra de microbiología

Para evaluar la calidad sanitaria del agua de la cuenca alta del río Achiguate se tomaron muestras de agua en cada punto en los meses de mayo y julio, en envases estériles de 100 ml, luego fueron trasladados en hieleras al Laboratorio Microbiológico de Referencia-LAMIR de la facultad de Ciencias Biológicas y Farmacéuticas de la Universidad San Carlos de Guatemala. La metodología utilizada para la determinación de coliformes totales y fecales fue por el método del Número más Probable (NMP/100 ml) (Ramalho, 2003; Roldan, y Ramírez, 2008).

#### 5.5.5. Muestra de macroinvertebrados acuáticos

Para la colecta de macroinvertebrados acuáticos, se utilizó la red “D”, la cual es idónea principalmente para cuerpos de agua con poca profundidad y fondo rocoso (Figura 13). El

procedimiento que se siguió se basó en la metodología estandarizada de muestreo multihábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red en D en ríos de El Salvador (Sermeño, Pérez, Muños, Serrano, Rovas, y Monterrosa, 2010).



*Figura 13. Colecta de macroinvertebrados acuáticos*

Las muestras recolectadas con la red fueron transferidas a recipientes herméticos plásticos, previamente identificados. Y fijadas con alcohol etílico al 95% para posteriormente ser trabajadas en las instalaciones del laboratorio (Figura 13).

En el laboratorio se procedió a la limpieza de las muestras eliminando sedimento, rocas, hojarasca y material orgánico mediante un tamiz de 200  $\mu\text{m}$ , con el propósito de dejar únicamente a los organismos. Estos se trasladaron a recipientes plásticos pequeños con alcohol etílico al 70% (Figura 14).



*Figura 14.* Limpieza de muestras de macroinvertebrados acuáticos

Posteriormente los ejemplares de macroinvertebrados acuáticos se identificaron al nivel taxonómico de familia. Mediante la utilización de un estereoscopio óptico y pinzas entomológicas, así como también de claves taxonómicas especializadas para determinar los órdenes (Hanson et al., 2010) y la familias a las que pertenecen: Trichoptera (Springer, 2010; Springer, Serrano, y Zepeda, 2010) Ephemeroptera (Flowers, y Roca, 2010; Serrano, y Zepeda, 2010), Hemiptera (Pacheco, 2010), Blattodea, Odonata (Ramírez, 2010; Sermeño, Pérez, y Gutiérrez, 2010), Diptera (Menjívar, 2010), Megaloptera (López, Sermeño, y Pérez, 2010), Coleoptera (Gutiérrez, 2010), Oligochaeta, Plecoptera (Gutiérrez, Sermeño, y Chávez, 2010), Basommatophora, Decapoda y Lepidoptera (Serrano, y Zepeda, 2010).

Posterior a su identificación, los organismos fueron colocados en viales de vidrio con alcohol etílico al 70%, debidamente identificados con datos tales como sitio de colecta, coordenadas, fecha, etc. Los macroinvertebrados acuáticos pasarán a formar parte de la colección de referencia del CEMA, ubicada en el Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas.

## 5.6. Análisis de información

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, riqueza, abundancia de macroinvertebrados y *Escherichia coli* se utilizó estadística descriptiva. También se trabajó con la media de los valores de los parámetros fisicoquímicos, abundancia de macroinvertebrados y con los índices biológicos de macroinvertebrados acuáticos de El Salvador y Costa Rica de los sitios de muestreo 1, 2 y 3 (PA), y 4, 5 y 6 (PB).

### 5.6.1. Índices bióticos y de calidad del hábitat ribereño

Se utilizó el Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos adaptado para el Salvador (IBF-SV-2010) (Tabla 5). Este consiste en el promedio de los puntajes de los grupos taxonómicos encontrados en los sitios de muestreo ponderados por su abundancia relativa, para obtener el IBF se utiliza la tabla de puntajes (Anexos 4 y 5) y la fórmula (Sermeño, et. al., 2010):

$$\frac{(Abundancia \times Puntaje \text{ taxa})}{Abundancia \text{ total}} = IBF$$


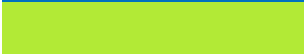



Tabla 5. Categorías de la calidad del agua según el resultado del cálculo del IBF

Valor IBF-SV	Categoría	Calidad del agua	Interpretación del grado de contaminación orgánica
0.00-3.75	1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76-4.25	2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26-5.00	3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01-5.75	4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76-6.50	5	Regular pobre	Contaminación sustancial es probable
6.51-7.25	6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26-10.00	7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

Fuente: Sermeño, et. al., 2010.

Se empleó el Biological Monitoring Working Party modificado para Atitlán (BMWP Atitlán) (Tabla 6). Este índice se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados, la ponderación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación (Anexo 6) (Arias, Dobles, y Ávila, 2007).






Tabla 6. *Clasificación de la calidad del agua según el puntaje total del BMWP*

Nivel de calidad	BMWP	Color representativo
Aguas de calidad excelente	>120	
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	60-100	
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas	<15	

Fuente: Arias, Dobles, y Ávila, 2007.

Para la evaluación del entorno ecológico del medio ambiente de los sitios de muestreo se utilizó el protocolo de evaluación biológica rápida (RBP por sus siglas en inglés) (Barbour, et. al., 1999) (Tabla 7). Esta boleta de evaluación se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos ítems del entorno ambiental, la ponderación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación o perturbación en el medio ambiente.

Tabla 7. *Clasificación de la calidad del agua según el puntaje total del RPD*

Valor RPD	Color asignado	Clasificación
161-200		Muy buena
121-160		Buena
81-120		Regular
41-80		Mala
0-40		Pésima

Fuente: Reyes, 2012.

### 5.6.2. Riqueza y abundancia

Se recurrió a la estadística descriptiva para la recolección, agrupación y presentación de los datos, su fácil y rápida descripción mediante la implementación gráfica en las que se representó el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos.

Mediante una prueba de Friedman, se determinó la existencia de diferencias significativas entre las variables riqueza y abundancia, con respecto a los sitios de muestreo. La prueba de Friedman es un contraste no paramétrico de homogeneidad de dos o más muestras (Fernández, Ayuga, González, y Fernández, 2001).

### 5.6.3. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA)

Se utilizó el CCA para la correlación entre las variables biológicas (familias de macroinvertebrados acuáticos) y fisicoquímicas, mediante el programa PcOrd 5.0. Es un método multivariado que permite dilucidar las relaciones entre los ensambles biológicos de las especies y su medio ambiente (Cajo, y Piet, 1995).

Este método está diseñado para extraer gradientes medioambientales de los parámetros ecológicos, dichos parámetros establecen las condiciones o la tolerancia en los hábitats que tienen los organismos por medio de un esquema de ordenación de la distribución y composición de los macroinvertebrados. (Badii, Castillo, Cortez, Wong, y Villalpando, 2007; Cajo, y Piet, 1995; Ortíz, 2015).

### 5.6.4. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Para evidenciar la influencia de las variables ambientales en el área de estudio sobre la distribución de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes sitios de muestreo se realizó el análisis de componentes principales (ACP), utilizando los parámetros fisicoquímicos del agua y la abundancia de las taxa de macroinvertebrados acuáticos presentes (Ortíz, 2015).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Índice de calidad de hábitat ribereño (RBP/Atitlán)

El índice de calidad de hábitat ribereño calculado para los seis puntos de muestreo indicó que la mejor condición con respecto al hábitat la tienen los sitios que se encuentran antes de las comunidades cercanos al nacimiento (Punto 1 y 2), caracterizados por encontrarse en zonas de vegetación y poca influencia antropogénica, mientras que los demás puntos se localizaban luego de la aldea Guadalupe, Escuintla y de fincas dedicadas a actividades agropecuarias (Tabla 8). Las precipitaciones pluviales en los meses de junio y julio, causaron mayores cambios en el entorno de todos los sitios de muestreo, siendo los más cercanos al nacimiento (Puntos 1 y 2) los que menor impacto obtuvieron, mientras que en los demás sitios se vieron más afectados ya que presentan mayor influencia antropogénica y deforestación tal como se muestra en el estudio desarrollado en los ríos de la cuenca del lago de Atitlán, en el que se establece que las partes con abundante vegetación poseen valores de RPB más altos comparada con sitios dedicados a cultivos y con poblados (Reyes, 2012).

Tabla 8. Índice de calidad de hábitat ribereño

Diagnóstico del entorno	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 6	
Heterogeneidad del sustrato	19		12		6		7		6		6	
Empotramiento del sustrato	18		11		6		9		9		6	
Relación profundidad y velocidad	16		13		6		7		6		6	
Deposición de sedimentos	16		12		7		6		7		6	
Estado del cauce de flujo	17		14		7		7		8		6	
Alteración del cauce	20		13		13		5		5		13	
Frecuencia de rápidos (MI-MD)	9	9	8	8	5	7	7	7	5	4	4	5
Estabilidad de las márgenes (MI-MD)	8	8	7	8	4	6	6	7	4	4	4	5
Vegetación protectora (MI-MD)	9	10	8	8	5	6	5	5	4	6	5	6
Amplitud de la vegetación riberaña (MI-MD)	9	9	6	5	5	5	4	4	4	5	6	6
Total	175		133		87		86		78		84	
Calidad del hábitat ribereño	Muy buena		Buena		Regular		Regular		Mala		Regular	

MI=Margen izquierdo, MD=Margen derecho, Punto 1= Cercano al nacimiento, Punto 2= Antes de comunidades, Punto 3= Después de comunidades, Punto 4= Antes de actividades agropecuarias, Punto 5= Punto medio de actividades agropecuarias, Punto 6= Después de actividades agropecuarias

## 6.2. Fisicoquímicos

Las variaciones de los parámetros fisicoquímicos durante abril a julio en los puntos de muestreo que se dividieron en PA (puntos 1, 2 y 3) y PB (puntos 4, 5 y 6) se muestran a continuación (Tabla 9):

*Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos por temporalidad y sitio de muestreo*

Muestras	Sitio	pH	OD	COND	TDS	T	NO <sup>2-</sup>	NO <sup>3-</sup>	NH <sup>4+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	DBO <sub>5</sub>	
Abril	PA	7.99	114.9	9.43	178	89	20.58	0.170	3.67	0.060	1.3	1.7
	PB	8.39	117.0	9.09	227	111	24.28	0.280	3.47	0.060	4.6	5.5
Mayo	PA	7.75	112.4	9.06	186	93	21.33	0.140	4.85	0.024	1.0	3.0
	PB	7.98	117.7	9.10	229	117	24.51	0.327	7.40	0.092	0.9	4.1
Junio	PA	7.95	89.4	7.26	154	77	21.21	0.200	8.48	0.250	16.2	3.9
	PB	7.99	94.0	7.26	200	100	24.49	0.348	8.63	0.138	10.2	4.2
Julio	PA	7.92	91.2	7.43	176	87	21.07	0.223	9.13	0.064	1.2	0.0
	PB	8.14	94.4	7.27	227	113	24.75	0.362	10.50	0.065	1.1	4.2

PA= Parte alta, PB= Parte baja, OD=oxígeno disuelto (% saturación-izquierda, mg/l-derecha), pH=potencial de hidrógeno (adimensional), COND=conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^3$ ), TDS=sólidos totales disueltos (mg/l), T=temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), NO<sup>2-</sup>=nitritos (mg/l), NO<sup>3-</sup>=nitratos (mg/l), NH<sup>4+</sup>=amonio (mg/l), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>= ortofosfatos (mg/l) y DBO<sub>5</sub>= demanda bioquímica de oxígeno en cinco días(mg/l)

### 6.2.1. Comportamiento de la temperatura, pH y oxígeno disuelto

El comportamiento de las variables temperatura y pH para la parte alta del río Achiguate se mantienen estables en un rango de 7.75-7.99 del pH y 20.58-21.33 $^{\circ}\text{C}$  respectivamente (Figura 15 a). Sin embargo, la concentración de oxígeno disuelto disminuyó en junio y julio comparado con abril y mayo. En la parte baja del río Achiguate, se observa el mismo comportamiento con respecto al pH, temperatura y OD. Con rangos de 7.98 a 8.39 de pH y una temperatura de 24.28 a 24.75 (Figura 15 b).

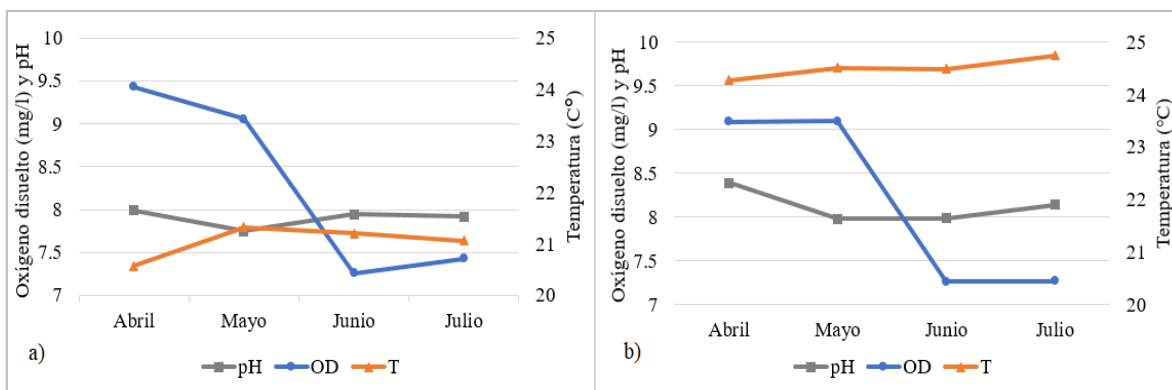


Figura 15. Comportamiento conjunto de temperatura, oxígeno disuelto y pH:  
a) Parte alta, b) Parte baja

Las variables de concentración de OD y pH de la parte alta y baja del río presentan valores similares, mientras que la temperatura presentó un incremento promedio de  $3.46^{\circ}\text{C}$  en la parte baja, pudiéndose deber a las descarga residuales de la comunidad, la localización de los puntos de muestreo sobre el nivel del mar, y/o el estado de conservación del hábitat ribereño muestra que en los puntos de muestreo de la parte alta se encuentra protegida por bosque, mientras que en la parte baja se encuentra menor cobertura vegetal.

La variación de la concentración de OD no se encuentra influenciada por las variables de temperatura y pH, y se le amerita a la presencia de lluvias en el mes de junio que incrementó la deposición de materia orgánica al cuerpo de agua. Para la conservación del medio ambiente el pH del agua de ríos independientemente que se encuentren en lugares costeros, selvas o sierras, debe de mantenerse dentro del rango de 6.5 a 8.5 o encontrarse en la neutralidad 7 (Mamani, 2012; Juárez y Martínez, 2010). Mientras que la concentración optima de OD debe de ser  $\geq 5 \text{ mg/L}$  (Mamani, 2012).

#### 6.2.2. Comportamiento de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos

El comportamiento de las variables conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura en la parte alta de la cuenca del río. Se encontró que en el mes de mayo se mostraron mayores concentraciones de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos ( $186 \mu\text{S}/\text{cm}^2$  -  $93 \text{ mg/l}$ ) los cuales disminuyeron en el mes siguiente ( $154 \mu\text{S}/\text{cm}^2$  -  $77 \text{ mg/l}$ ).

El mismo comportamiento se observó con las variables de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos en la parte baja del río, en mayo se encontró  $229 \mu\text{S}/\text{cm}^2$  -  $117 \text{ mg}/\text{l}$  respectivamente y para el siguiente mes en  $200 \mu\text{S}/\text{cm}^2$  -  $100 \text{ mg}/\text{l}$  (Figura 16 b).

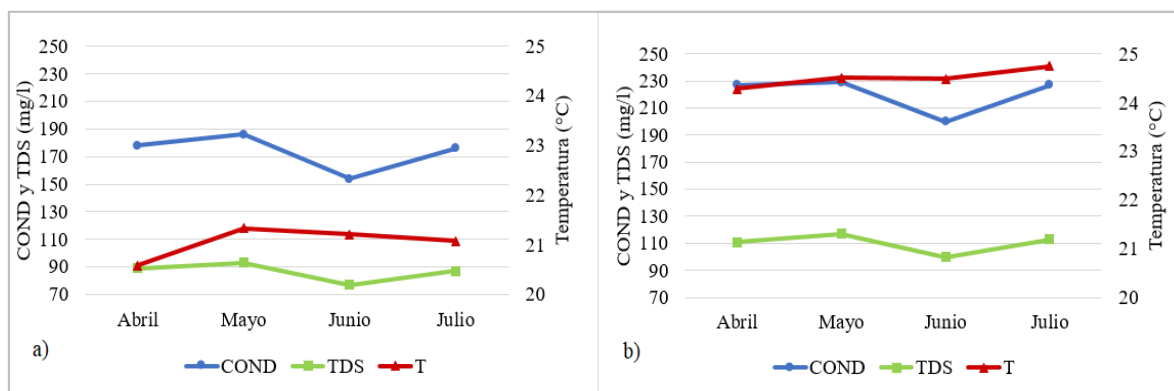


Figura 16. Comportamiento conjunto de la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y temperatura: a) Parte alta, b) Parte baja

Los parámetros muestreados en los puntos de la PA fueron menores que en la PB, esto se debe a la ubicación de los puntos ya que la parte alta se encuentra cerca del nacimiento del río Achiguate por lo que presenta características oligotróficas y a medida que la altitud disminuye la conductividad y la concentración de iones aumenta progresivamente por efectos de la erosión del cauce, arrastre de sedimentos por escorrentía provocada por lluvias, y a las descargas residuales (Figura 16) (Roldán, y Ramírez, 2008).

Las curvas de las variables conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos tienen la misma tendencia debido a que en soluciones acuosas la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de TDS por lo que cuanto mayor sea la concentración de sólidos totales disueltos, mayor es la conductividad. Esto se debe a que los sólidos totales disueltos están compuestos por la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua (Roldán, y Ramírez, 2008), mismo comportamiento que se observó en la investigación (Figura 16).

La concentración óptima de sólidos totales disueltos en el agua de ríos debe encontrarse en 500 mg/l para conservar la calidad del medio ambiente acuático, valor que para la cuenca alta del río Achiguate se encuentra aceptable (Mamani, 2012).

### 6.2.3. Comportamiento de los compuestos nitrogenados

Las menores concentraciones de nitritos en el río se presentan en los dos primeros meses (0.140 mg/l PA, 0.280 mg/l PB) aumentando su concentración a media que avanzó la investigación, para julio las concentraciones de nitritos fueron las más elevadas en ambos sitios (0.223 mg/l PA, 0.362 mg/l PB) (Tabla 9). La presencia de nitritos en el agua indica contaminación de carácter fecal reciente, normalmente en aguas superficiales con bastante oxigenación estos niveles no suelen superar 0.1 mg/L, el aumento de estos valores se asocia a la contaminación por descargas de aguas residuales domésticas (Gil, et. al., 2013; Metcalf, 1995).

Para los nitratos las concentraciones óptimas para aguas sin contaminación no deben de sobrepasar valores encima de 4 mg/l, si la concentración de nitratos es superior a 25 mg/l se considera que el estado de la masa de agua es malo, valor en el que tanto la parte alta como la baja se encuentran muy cercanos o se excede del valor óptimo (3.67-9.13 mg/l PA y 3.47-10.5 mg/l PB) (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino - ORDEN ARM/2656/2008, 2008) (Tabla 9). Normalmente las aguas naturales superficiales no suelen contener más de 10 mg/l o con frecuencia no pasan de 1.0 mg/l, pero en los últimos años se ha comprobado el incremento del contenido de nitratos en los cuerpos de aguas, relacionado con el uso de fertilizantes nitrogenados (Marín, 2003).

El incremento progresivo de variables como el nitrato se debe principalmente a la presencia de lluvias que inyectan  $\text{HNO}_3$  que al incorporarse en el medio acuático se disocia y produce  $\text{NO}_3^-$  (nitratos). El comportamiento de los compuestos nitrogenados muestra que en el medio acuático están sucediendo reacciones de oxidación, siendo los nitratos el último estado de oxidación del nitrógeno en el medio. Esto se debe a que se presentan en mayor concentración que los nitritos y el amonio y es un proceso normal que se produce en

condiciones aeróbicas del medio conocido como nitrificación (Marín, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008).

Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son las aguas residuales domiciliarias, fosas sépticas, descarga de corrales de engorda de ganado, residuos animales, lluvias, disolución de rocas-minerales y descomposición de la materia orgánica, factores que se observan en los puntos que se encuentran luego de las comunidades y actividades agropecuarias (Claros, 2012; Marín, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008; Sánchez, Herzig, Peters, Márquez, y Zambrano, 2007).

El amonio presentó concentraciones de 0.024 a 0.064 PA mg/l en la PA mientras que en la PB 0.06 a 0.138 mg/l en ambos sitios alcanzaron su mayor concentración en el mes de junio. El nitrógeno amoniacal óptimo para la conservación del ambiente acuático de cuerpos de agua lóticos debe ser de 0.05 mg/l, valor en el que únicamente se encuentra por debajo la PA al inicio de la investigación (Mamani, 2012).

El nitrógeno total (NT) de la parte alta del río Achiguatse se encontró en un rango de 0.93 a 2.18 mg/l, mientras que en la parte baja de 0.92 a 2.53 mg/l (Figura 17 a y b). El valor de NT para la conservación del medio ambiente acuático debe de encontrarse en 1.6 mg/l, el cual al inicio de la investigación se muestran tanto la parte alta como la baja, mientras que en los últimos meses la concentración de NT incremento saliéndose del valor óptimo (Mamani, 2012).

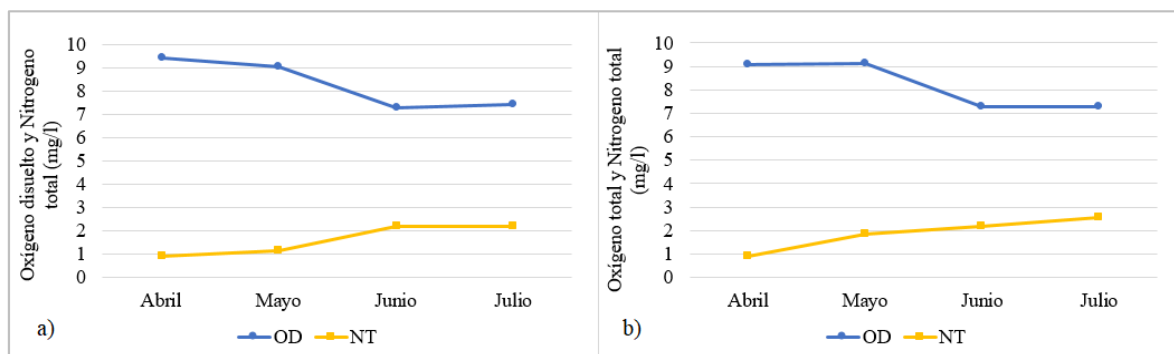


Figura 17. Comportamiento conjunto del oxígeno disuelto y el nitrógeno total:

a) Parte alta, b) Parte baja

La conducta del nitrógeno total y la concentración del OD muestra que a medida que el NT aumenta el OD disminuye tanto en la parte alta como en la parte alta. Las variaciones de los compuestos nitrogenados demuestran que el aumento de los nitratos, nitritos y amonio en el medio acuático produjeron la disminución del oxígeno disuelto.

Las reacciones de los nitratos en el agua dulce pueden causar el agotamiento del oxígeno (Sánchez, et. al., 2007). En aguas bien oxigenadas las concentraciones de nitritos se encuentran en bajas concentraciones (Figura 17) (Roldán, y Ramírez, 2008).

#### 6.2.4. Comportamiento de los ortofosfatos

Las variaciones de la concentración de ortofosfatos en el agua en la PA del río se encuentran en un rango de concentración de 1 a 1.3 mg/l, excepto en el mes de junio donde su concentración se eleva hasta 16.2 mg/l (Figura 18 a).

En junio el comportamiento de las concentraciones de ortofosfatos tanto en la PA como en la PB se elevaron hasta alcanzar valores por encima de 10 mg/l (Figura 18 b). A diferencia de la PB a la PA pertenece el sitio de muestreo que se encuentra después de la comunidad, este es un punto que recibe la descarga de aguas residuales, provocando una mayor concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  en el medio. Mientras que la PB recibe la entrada de un tributario que permite que la concentración de ortofosfatos sea menor debido a la dilución en la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  por el aporte de agua de este afluente, a pesar de encontrarse en una zona donde se realizan actividades agropecuarias.

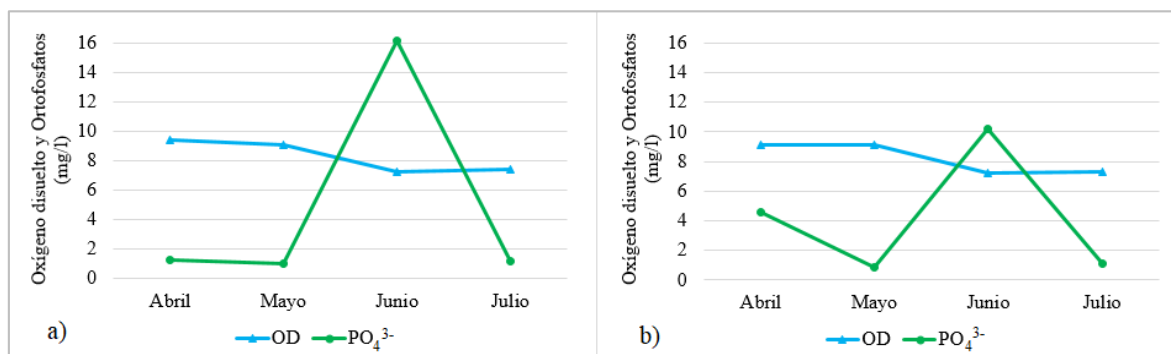


Figura 18. Comportamiento conjunto del oxígeno disuelto y los ortofosfatos:

a) Parte alta, b) Parte baja

La variación más marcada en las concentraciones de ortofosfatos en la PA y PB del río se obtuvieron en junio, mes que se caracterizó por una elevada presencia de lluvias, provocando el descenso en la concentración de oxígeno disuelto en el medio acuático. El ion fosfatado puede entrar en los cursos del agua ya sea por fuentes puntuales o no puntuales, entre ellas las descargas residuales, residuos animales, fertilizantes, lixiviación de rocas, pesticidas orgánicos, detergentes que llegan a los cuerpos de agua mediante escorrentías (Baird, 2001; Capó, 2007; Roldán, y Ramírez, 2008; Sánchez, et. al., 2007).

Como anteriormente se mencionó, el fosforo se puede encontrar en las rocas principalmente como ortofosfatos. La principal fuente de este ion son las rocas ígneas. La composición geológica para esta área de estudio está compuesta por rocas ígneas y metamórficas (Duro, et. al., 2005; Lavarreda, 1987; Reyes, 1982).

El reporte de precipitaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología establece que en el mes de junio de 2017 se reportaron fuertes lluvias que sobrepasaron los niveles (14-24 días de lluvias) (Insivumeh, 2017a). A este factor se le atribuye el incremento de los ortofosfatos en el río por suministro de materiales alóctonos mediante la lixiviación de rocas ígneas. La concentración óptima de fosfatos en el agua para la conservación del ambiente acuático debe encontrarse en 0.5 mg/l, valor que se sobrepasa tanto en la parte alta como en la baja del río (Mamani, 2012).

#### 6.2.5. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno

La concentración de oxígeno utilizada por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica (DBO<sub>5</sub>), se mantuvo de 3.9 a 1.7 mg/l en la PA del río, mientras que en la PB se encontró principalmente en 4.1 a 5.5 mg/l (Figura 19 a y b) La concentración óptima para la conservación de ambientes acuáticos debe de ser  $\leq 10$  mg/l (Mamani, 2012).

Los picos de mayor concentración de la DBO<sub>5</sub> sugieren que existe mayor consumo de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios, por lo que el oxígeno del agua tiende a disminuir (Ramos, Sepúlveda, Marquéz, y Villalobos, 2003; Sánchez, et. al., 2007).

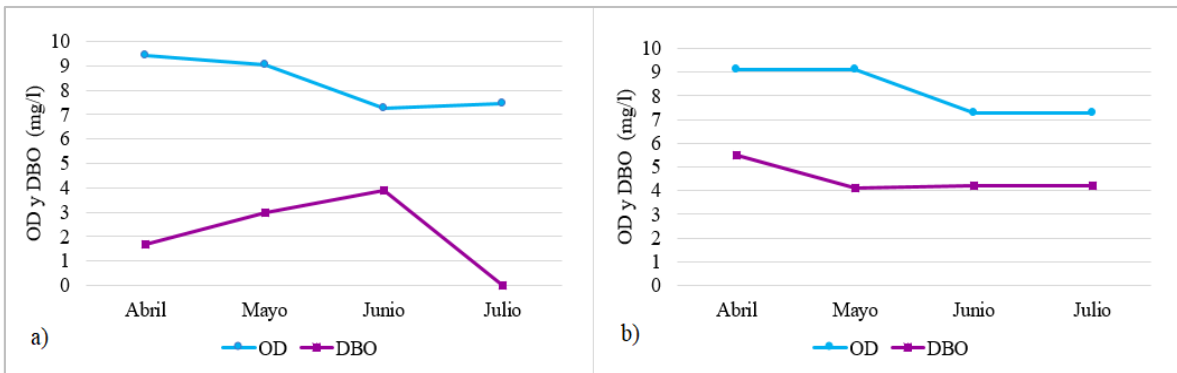


Figura 19. Comportamiento conjunto del oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno: a) Parte alta, b) Parte baja

Los procesos de nitrificación disminuyen los valores de la DBO<sub>5</sub>, debido a que los cuerpos de agua con altas poblaciones de bacterias nitrificantes generan una demanda adicional de oxígeno por la oxidación de compuestos nitrogenados (Ramos, et. al., 2003; Roldán, y Ramírez, 2008). El pH es otro factor abiótico que regula procesos biológicos, como la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas, controlando las poblaciones bacterianas (incremento en la respiración de organismos) que asimilan la materia orgánica, e influyen por consiguiente en la variación del DBO<sub>5</sub> (Roldán, y Ramírez, 2008).

De manera general la PA comprendida por los puntos 1, 2 y 3, muestra las concentraciones más bajas en todas las variables fisicoquímicas, independientemente del mes de muestreo comparadas con la PB la cual la conforman los puntos 4, 5 y 6 (Tabla 9). Esta variación se debe principalmente a factores como altitud sobre el nivel del mar, que intervienen en la temperatura y oxígeno del medio, perturbación del medio ambiente por acción antropogénica y a la presencia de precipitaciones pluviales en el área de estudio.

El principal factor que alteró las concentraciones naturales del medio acuático, especialmente la de los nutrientes, fue la presencia de lluvias en junio. Según los informes climatológicos mensuales durante este mes las elevadas temperaturas del medio ambiente producidos por la entrada de la canícula y la entrada de ondas provenientes del este del país favorecieron las lluvias convectivas (371-500 mm precipitación pluvial) (Insivumeh,

2017a). Además, el área según las zonas de vida de Holdridge se clasifica como bosque muy húmedo subtropical (cálido), describiendo el lugar con un alto rango anual de precipitación (1587-2066 mm agua) (Duro, et. al., 2005). Producto de este fenómeno natural el aumento de los nutrientes alóctonos y procesos de descomposición de compuestos autóctonos provocaron el declive de las concentraciones de oxígeno disuelto en la cuenca alta del río Achiguate.

### 6.3. Análisis microbiológico de coliformes totales y fecales

La variación en la población bacteriana de coliformes totales y *Escherichia coli* en el mes de mayo y julio se muestran a continuación (Figura 20):

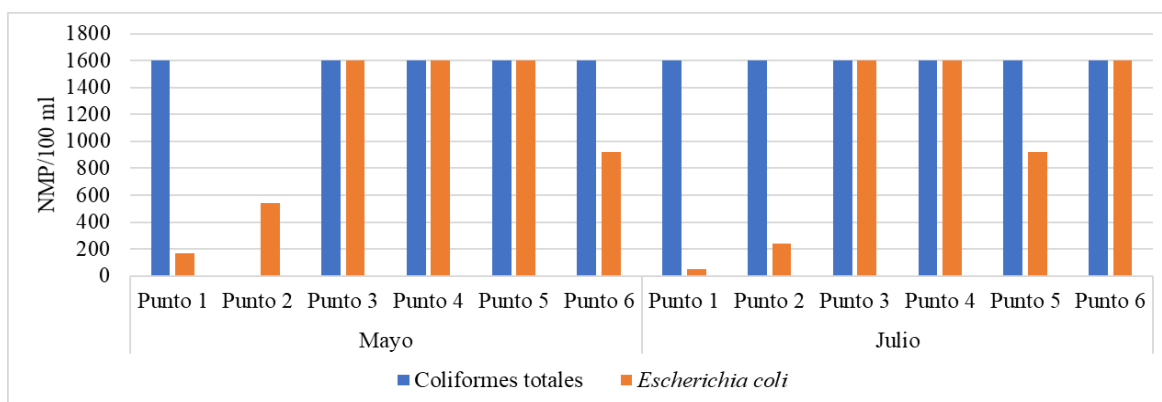


Figura 20. Análisis de coliformes totales y fecales en la cuenca alta del río Achiguate

La Organización Mundial de la Salud-OMS establece que la calidad del agua de la cuenca alta del río Achiguate según la concentración de coliformes totales se clasifica como aguas de calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como coagulación y filtración para poder ser utilizada para fines de consumo humano (50-5000 NMP/100 ml), también puede ser utilizada para la agricultura (Roldán Pérez y Ramírez Restrepo, 2008). Para mantener los estándares de calidad ambiental la concentración de coliformes totales debe de encontrarse menor a 3000 NMP/100 mL, valor en el que se encuentran las concentraciones en todos los sitios de muestreo en ambos meses (Mamani, 2012).

Los sitios con menor concentración de *Escherichia coli* fueron los que se encuentran cercanos al nacimiento y antes de las comunidades y actividades agropecuarias, mientras que los puntos con mayor influencia de *E. coli* fueron el 3 y 4 que se encuentran luego de las comunidades que descargan sus aguas residuales directamente al río sin ningún tipo de tratamiento previo y aledaños a sitios de ganadería y crianza de animales domésticos. La mayor presencia de *E. coli* en el agua de estos puntos indica la reciente contaminación por aguas residuales o contaminación de residuos animales. Esta pudo llegar hasta las fuentes de agua durante las lluvias, que fueron reportadas el Insivume en los informes climatológicos mensuales para ambos meses (Rock, y Rivera, 2014; Insivumeh, 2017b; Insivumeh, 2017c).

#### 6.4. Macroinvertebrados acuáticos

##### 6.4.1. Riqueza

Se identificaron 36 familias pertenecientes a 14 órdenes y 3 filos dentro de la cuenca alta del río Achiguate (Anexo 2). Abril mostró el mayor número de familias durante el período de investigación en la mayoría de los sitios de muestro de la cuenca alta, excepto el punto 5 en el cual la riqueza se incrementó en el mes de mayo (Figura 21).

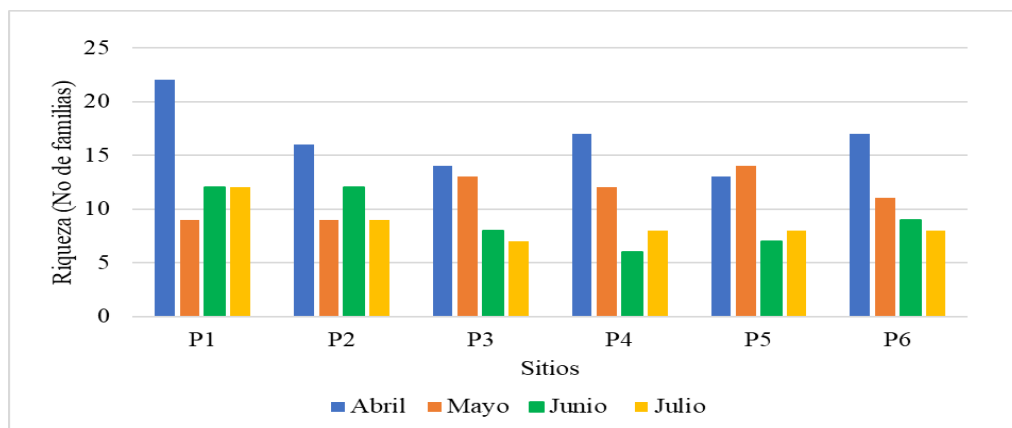


Figura 21. Riqueza de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Achiguate

Se evidenciaron diferencias significativas ( $p=0.0036$ ) en cuanto a la riqueza de familias respecto a los meses muestreados. Abril presentó una riqueza mayor en relación con los

otros tres meses de muestreo según la prueba de Friedman. Este mes se caracterizó por presentar menor perturbación climatológica.

#### 6.4.2. Abundancia

En el mes de abril se encontró la mayor cantidad de organismos en los sitios de muestreo excepto en el punto 5 (Figura 22). Mediante la prueba de Friedman se evidenció que existen diferencias significativas ( $p=0.0069$ ) en cuanto a la abundancia de organismos respecto a los meses muestreados y se demostró que abril presentó una abundancia mayor en relación con los otros tres meses de muestreo según la prueba de Friedman.

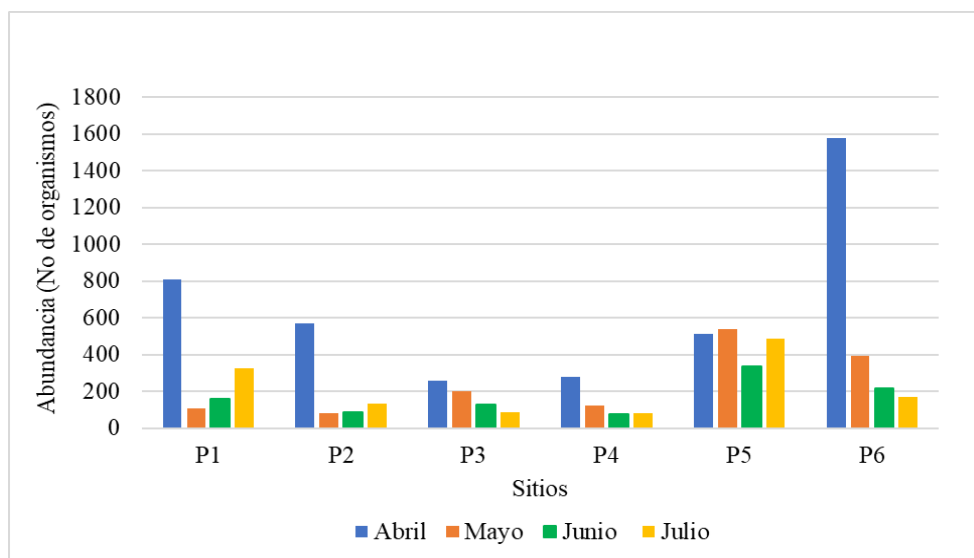


Figura 22. Abundancia de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Achiguate

Los órdenes con mayor abundancia de organismos durante los meses de abril a julio de la cuenca alta del río Achiguate fueron para la PA: Coleoptera (37.8%), Ephemeroptera (20.2%), Trichoptera (16.7%), Hemiptera (11.6%), y Diptera (8.6%), mientras que para la PB Mesogastropoda (60.5%), Trichoptera (14.0%), Diptera (10.5%), Ephemeroptera (7.2%) y Coleoptera (5.2%) (La Figura 23).

El orden Mesogastropoda lo conformó la familia Thiaridae que se presentó únicamente en la PB de la cuenca del río, con un total de 7,339 organismos (Anexo 3). Los gasterópodos

en general son organismos indicadores de aguas contaminadas con abundante materia orgánica (Sermeño, et. al., 2010).

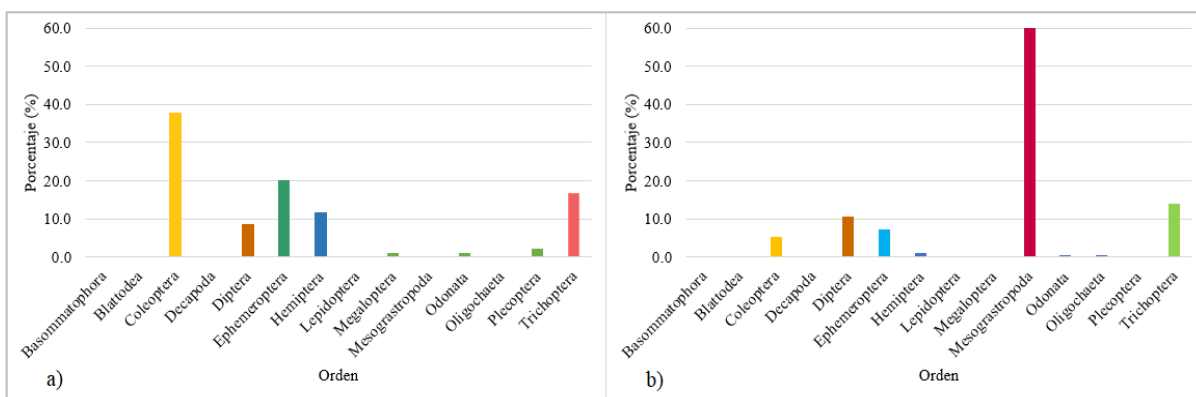


Figura 23. Abundancia en la parte alta (a) y baja (b) de la cuenca alta del río Achiguate

Las larvas de Trichoptera pueden vivir en todo tipo de hábitat ya sean lóticos o lénticos, pero en los cuerpos de agua lóticos fríos es donde pueden presentar la mayor diversidad (Roldán, 1988; Springer, Serrano, y Zepeda, 2010). Se identificaron ocho familias de Trichoptera: Calamoceratidae, Hydrobiosidae, Glossosomatidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Lepidostomatidae, Leptoceridae y Philopotamidae) correspondientes a 2,175 organismos colectados (Anexo 3). La mayoría de los organismos de este orden viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, en general son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Posada, y Roldán, 2003; Roldán, 1988; Springer, 2006; Springer, 2010; Springer, Serrano, y Zepeda, 2010).

La familia con mayor abundancia fue Hydropsychidae (2,074 organismos en total), se encuentran en aguas con mucha vegetación y materia orgánica en suspensión y algunos pueden tolerar aguas con considerables niveles de contaminación donde pueden ser muy abundantes, son organismos indicadores de aguas oligo-eutróficas (Brouchard, 2004; Roldan, 1988; Springer, 2010). Estos presentaron mayor abundancia en la parte baja de la cuenca, sitios que se caracterizaron por presentar descargas de aguas residuales y provenientes de actividades agropecuarias.

El orden Coleoptera lo constituyeron las familias Elmidae, Dytiscidae, Ptilodactylidae y Staphilinidae (Anexo 3). Generalmente los coleópteros acuáticos son buenos indicadores de la calidad ecológica del agua y su entorno (Gutiérrez, 2010).

La familia con mayor abundancia de este orden fue Elmidae con 1,093 organismos en la PA y 632 en la PB (1,725 organismos total). Se caracteriza por ser abundante y diversa en ríos con aguas bien oxigenadas y con presencia de abundante materia orgánica en descomposición como hojarasca y madera, características que describen a los puntos de la parte alta, principalmente en los puntos 1 y 2 de la cuenca alta del río Achiguate (Gutiérrez, 2010).

A los Hemípteros se les puede encontrar en una amplia variedad de ambientes lenticos como loticos, normalmente en remansos de ríos y quebradas (Pacheco, 2010; Roldán, 1988). Son organismos que tienen adaptaciones para tomar oxígeno del aire, por lo que son considerados indicadores de agua entre limpias y medianamente contaminadas con materia orgánica (Roldán, 1988; Sermeño, et. al., 2010). En el río se encontraron las familias Veliidae, Naucoridae, Gerridae y Belostomatidae (Anexo 3). La familia más representativa de este orden fue Veliidae con un total de 451 organismos presente en mayor cantidad en la parte alta del río.

Las ninfas de Ephemeroptera viven regularmente en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas, son pocas las que resisten leves grados de contaminación orgánica, pero se consideran generalmente indicadores de buena calidad del agua (Roldán, 1988; Sermeño, et. al., 2010). Estos organismos son más abundantes en aguas frías y diversos en aguas con corrientes (Sermeño, et. al., 2010). La contaminación o cambios no favorables en la calidad del agua pueden provocar que las ninfas entren en deriva, en busca de condiciones más adecuadas, razón por la cual las poblaciones de ninfas son mayores en la parte alta ya que su entorno ambiental se encuentra mejor conservado que en la parte baja que recibe la influencia de las comunidades y de actividades agropecuarias (Flowers, y Rosa, 2010).

Las familias de Ephemeroptera presentes en el río fueron Baetidae, Leptohiphidae y Leptophlebiidae, siendo las primeras dos las de mayor abundancia (495, 957, y 12 total de organismos) (Anexo 3). La familia Baetidae se encontró más asociada a la parte baja presentando un total de 322 organismos. Esta familia está clasificada como indicadores de aguas limpias, abundantes en quebradas y río no contaminados (Serrano, y Zepeda, 2010; Roldán, 1988). Mientras que la familia Leptohiphidae son ninfas que se distribuyen ampliamente, incluyendo en ambientes degradados en áreas agrícolas, se han encontrado en las piedras y la vegetación acuática o en el fango, pertenecen al grupo de insectos que utiliza el oxígeno disuelto en el agua para respirar más tolerantes (Serrano, y Zepeda, 2010).

La mayoría de los Dípteros son indicadores de aguas contaminada, ya que poseen características que les permite sobrevivir en zonas escasas de oxígeno (cutícula, sifones aéreos, agallas traqueales, pigmentos respiratorios) (Roldán, 1988; Sermeño, et. al., 2010). La familia más conocida de este orden es Chironomidae la cual presentó la mayor abundancia de un total de seis familias pertenecientes a este orden (Chironomidae, Ceratopogonidae, Dixidae, Psychodidae, Simuliidae y Tipulidae) con un total de 1168 organismos, seguida de la familia Simuliidae (248 organismos), ambas familias se presentaron con mayor abundancia en la parte baja del río (Anexo 3).

Los Chironómidos son organismos característicos de aguas contaminadas lólicas o lénticas en fango, arena y abundante materia orgánica, los organismos de esta familia que viven en cuerpos de aguas pobres en oxígeno, característico de los puntos de la parte baja donde esta familia tuvo mayor presencia (Bouchard, 2004; Roldán, 1988; Menjívar, 2010).

## 6.5. Índices bióticos

### 6.5.1. Índice Biológico a Nivel de Familias –IBF-SV-2010

La parte alta del río se mantuvo en la categoría 3 durante los meses de abril a junio indicando una buena calidad del agua con un valor de IBF de 4.84 a 4.94, únicamente en el mes de julio subió a la categoría 4 (5.35) pasando a ser de regular calidad. Mientras que los comportamientos de los puntos de la PB se mantienen en la categoría 5 en los primeros

meses de muestreo (5.78 a 6.13), y se clasificó como aguas de calidad regular pobre, luego se muestra un descenso a la categoría 4 al final de los muestreos (5.46) (Figura 24).

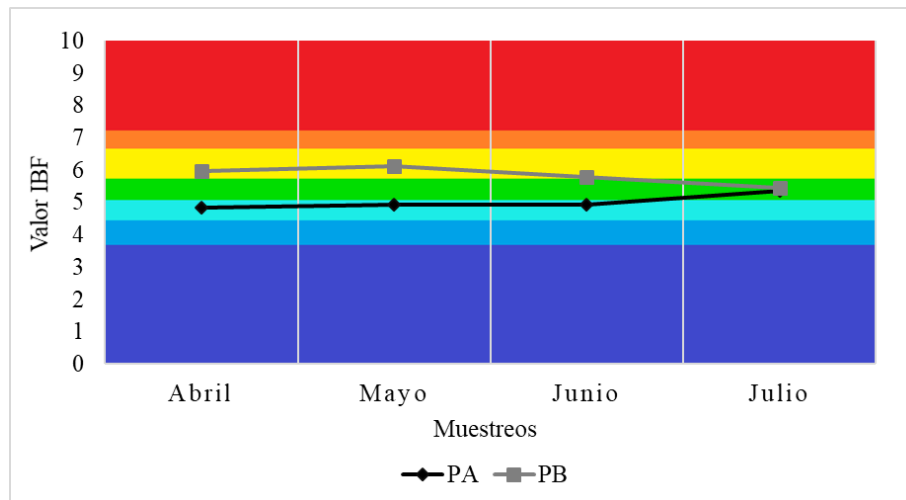


Figura 24. IBF-SV-2010 para la cuenca alta del río Achiguate, Escuintla

Estos comportamientos de incremento de categoría en los sitios de muestreo de la PA demuestran que las familias indicadoras de buena calidad del agua disminuyeron y aumentaron las que toleran condiciones de deterioro de la calidad del agua. En los puntos de la PB sucede lo contrario, en el transcurso de los muestreos se muestra un descenso de categoría, debido a que en los puntos se presenta un aumento de familias indicadoras de buena calidad del agua ocasionado por el desplazamiento de las familias de la PA hacia la PB por el incremento de las lluvias. Este proceso se conoce como deriva o movimiento río abajo de los macroinvertebrados bénticos en la columna de agua, común en los ecosistemas lóticos (Hanson, et. al., 2010).

Estos organismos pueden entrar en el proceso de deriva debido a razones de comportamiento, dispersión, o como resultado de disturbios (crecidas de ríos o cambio de la calidad del agua) lóticos (Hanson, et. al., 2010). La dinámica de aspectos como flujo de la corriente, velocidad, descarga, transporte de materiales, tipo de cauce y otros, también es un factor para el establecimiento de comunidades biológicas en las corrientes (Roldán, y Ramírez, 2008).

Estudios han establecido que el valor del IBF-SV es mejor en áreas boscosas comparada con áreas de poblados y de dedicadas a cultivos (Reyes, 2012). También se han encontrado valores promedio de IBF en los principales afluentes de la cuenca del lago de Atitlán en el río Quiscab que revelan contaminación orgánica sustancial probable y en río San Francisco debida a contaminación sustancial probable (Gil, 2015). Este comportamiento que se observó en lo puntos muestreados en la PA, que posee abundante cobertura vegetal comparada con los puntos de la PB que tiene influencia de los poblados y sus actividades.

De manera general la calidad del agua de la cuenca alta del río Achiguate se encuentra catalogada en la parte alta como de regular calidad por su valor promedio 5.02 IBF, mientras que la parte baja se encuentra clasificada como regular pobre por su valor promedio de 5.84 IBF.

#### 6.5.2. Biological Monitoring Working Party-BMWP/Atitlán

En abril los puntos de la PA presentaron calidad del agua excelente, mientras que en el mes de julio se presentaron los niveles más bajos de calidad, clasificándola como agua de mala calidad o contaminada (Figura 25).

Para la PB la calidad del agua disminuye conforme transcurren los muestreos, esta inició con una calidad del agua con contaminación moderada y al final de la investigación fue de mala calidad o contaminada (Figura 25).

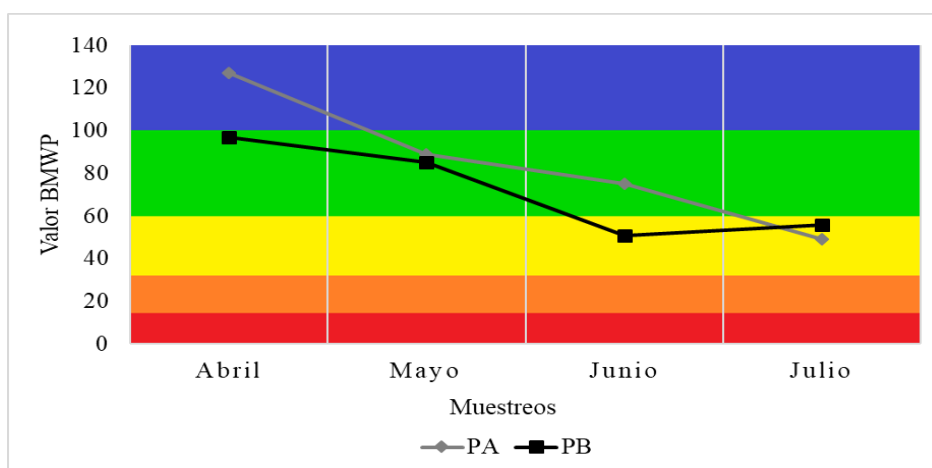


Figura 25. BMWP/Atitlán para la cuenca alta del río Achiguate, Escuintla

Las tendencias de los puntos de la parte alta y baja se muestran de forma descendente durante el periodo de investigación (Figura 25). Al igual que el IBF-SV-2010, la disminución de familias indicadoras de la buena calidad del agua pueden indicar un proceso de deriva, donde los organismos fueron arrastrados a las partes bajas de la cuenca, durante el periodo de lluvia, además las precipitaciones fluviales provocan disturbios en el río mediante el arrastre de sedimentos y el ingreso de material alóctono al ecosistema acuático lo cual genera la destrucción parcial o total de los hábitats de los macroinvertebrados (Arriola, 2014).

Otros estudios que emplearon el BMWP-Atitlán como el realizado en los ríos Tzalá y Tzununá en la cuenca del lago de Atitlán registran los niveles de calidad del agua de mala a muy mala (53-34) del río Tzalá, mientras que el río Tzununá lo cataloga como de buena a regular (96-88) calidad del agua. A pesar de encontrarse ambos ríos en la parte alta de la cuenca, la diferencia de las valoraciones de la calidad del agua radica en el grado de perturbación que existe en el ecosistema por la influencia de actividades antropogénicas (Arriola, 2014).

Las áreas con alta preservación de la vegetación permiten la conservación del medio ambiente y proporciona diversidad de hábitats para los organismos acuáticos, como sucedió en el estudio de la calidad del agua en la cuenca de lago de Atitlán, mientras que en áreas dedicadas a la agricultura y de poblados el BMWP-Atitlán fue catalogado como de mala calidad del agua (Reyes, 2012). La calidad del agua de la cuenca del río Achiguate según la presencia de familias de macroinvertebrados mediante el análisis del BMWP-Atitlán, se encuentra catalogada como aguas de calidad regular con eutrofia o contaminación moderada tanto en la parte alta como en la baja por su valor promedio 85 y 72.25 respectivamente.

#### 6.6. Análisis Multivariante de Componentes Principales-ACP

El ACP revela que los sitios que se encuentran antes de la zona de actividades agropecuarias (P1-P4) en varios meses de muestreo están relacionados con las mayores concentraciones de ortofosfatos, amonio y pH (Figura 26). Estos puntos se caracterizaron

por presentar abundante vegetación (1 y 2) y descargas de aguas residuales (3 y 4) que influyen en la presencia de estas variables, y recibieron mayor aporte debido las lluvias extensas del mes de junio y julio (Baird, 2001; Capó, 2007; Roldán, y Ramírez, 2008, Insivumeh, 2017).

Los sitios que se encuentran después de la comunidad (P3 y P4) estuvieron a asociar mayores concentraciones OD y DBO<sub>5</sub>, en la mayoría de los meses de muestreos (Figura 26). En estos sitios las quebradas del río predominan más, incrementando la oxigenación en el agua, pero a pesar de esto la presencia de la comunidad interviene en la concentración de DBO<sub>5</sub> mediante las descargas de aguas residuales, las cuales se vierten directamente al río. Los desechos de actividades agropecuarias principalmente los de ganadería del área también contribuyen a la degradación del medio acuático sumados a los materiales autóctonos del río, mediante la descomposición de la materia orgánica (Roldán, y Ramírez, 2008).

Los sitios P5 y P6 están asociados a nitratos, nitritos, TDS, conductividad eléctrica y temperatura (Figura 26). Estos puntos de la PB de la cuenca se encuentran influenciados por la descarga de aguas de fines acuícolas, agrícolas y ganaderos los cuales contribuyen a la degradación del medio acuático. La presencia de las anteriores variables fueron más relevantes en los meses de junio y julio, por la presencia de las lluvias (Claros, 2012; Marín, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008, Insivumeh, 2017).

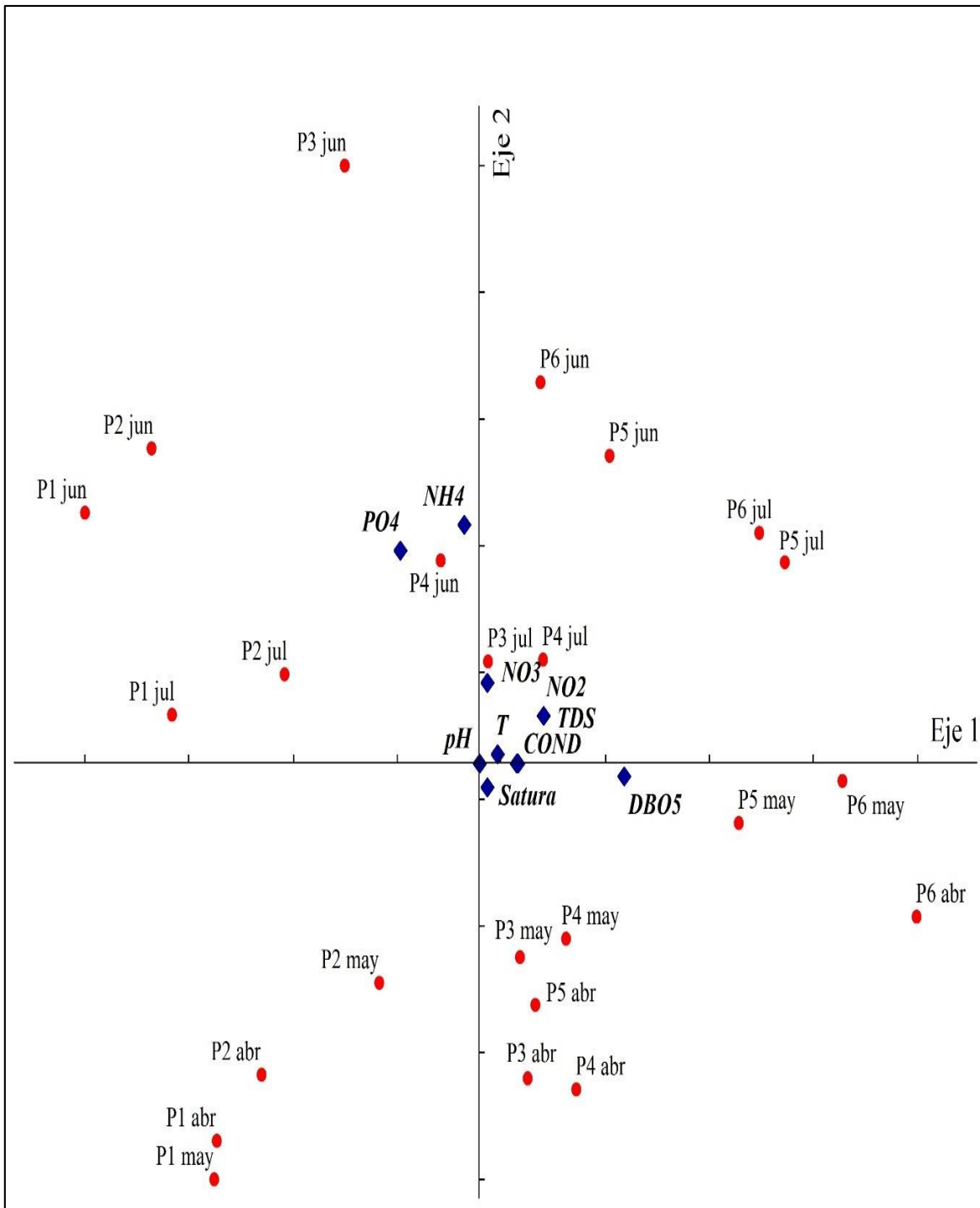


Figura 26. Ordenamiento de los sitios muestreados con relación a los parámetros fisicoquímicos del agua

## 6.7. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

La prueba de permutaciones de Monte Carlo evidenció que la presencia y abundancia de las familias de macroinvertebrados acuáticos se encuentra relacionada con los parámetros fisicoquímicos del agua de la cuenca alta del río Achiguate ( $p= 0.002$ ).

El análisis de correspondencia canónica muestra que las familias Leptohipidae, Leptoceridae, Philopotamidae, Ceratopogonidae y Chironomidae se encuentran relacionadas a los sitios con valores elevados de temperatura y conductividad, así como concentraciones altas de nitritos, amonio, ortofosfatos, TDS y DBO<sub>5</sub>. Estos sitios fueron los ubicados luego de la aldea Guadalupe (P3), punto medio y después de actividades agropecuarias (P5 y 6) (Figura 27). La presencia de estas variables fisicoquímicas y de las familias de macroinvertebrados se encuentran asociadas a cuerpos de aguas contaminados (Roldán, y Ramírez, 2008, Serrano, y Zepeda, 2010, Sringer, Serrano, y Zepeda, 2010, Menjivar, 2010).

Los sitios de muestreo que se encuentran después de la comunidad (P3 - P6) presentaron una baja valoración del RPB, IBF y BMWP, y las asociaciones de estas familias indica que pueden adaptarse a condiciones de mala calidad del agua, debido a que estos puntos se encuentran perturbados por las diferentes actividades antropogénicas desarrolladas en la PB de la cuenca y por la presencia de lluvias en los dos últimos meses de muestreos.

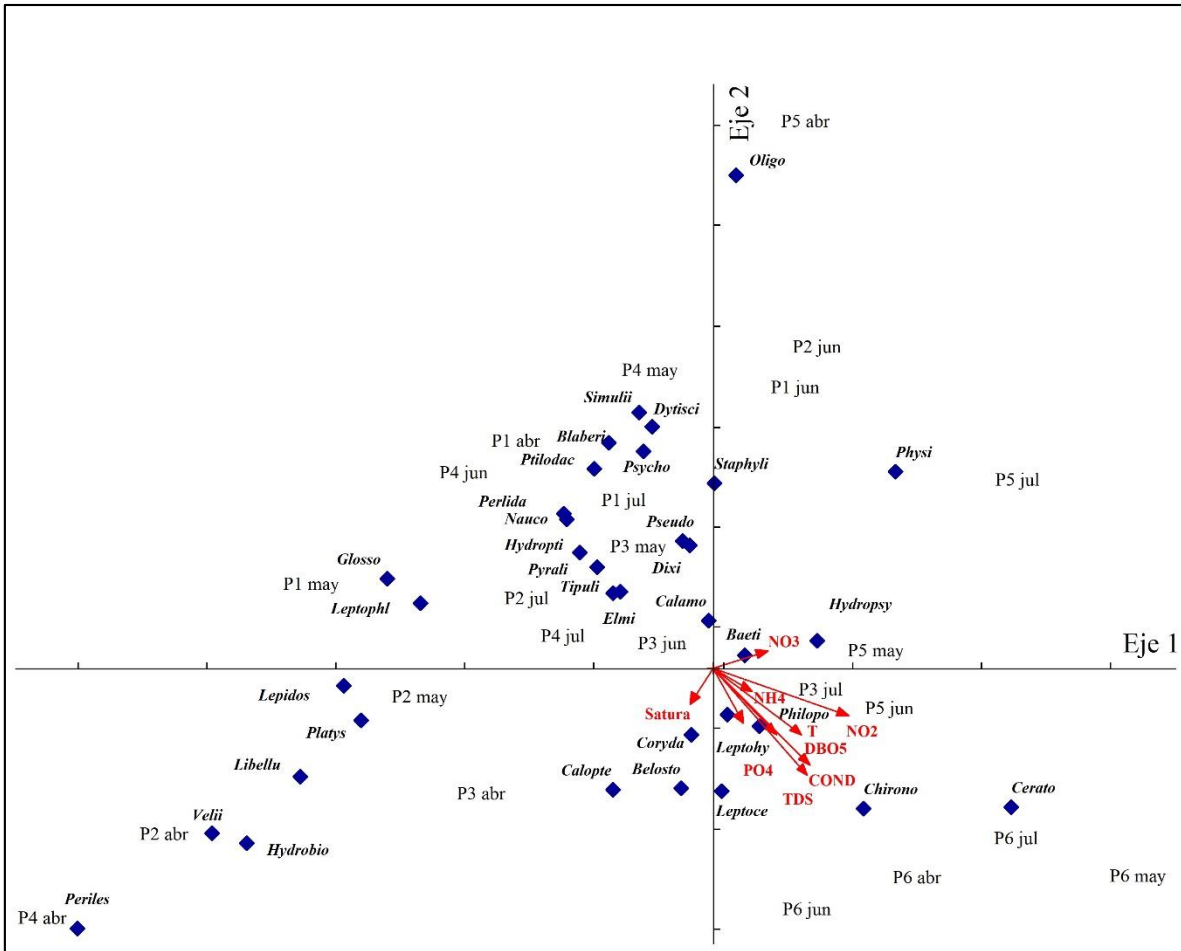


Figura 27. Ordenamiento de los sitios muestreadados con relación a los macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas

Las familias Calopterygidae, Belostomatidae y Corydalidae son organismos asociados a la variable saturación de oxígeno disuelto, presentes en el sitio que se encuentra después de la comunidad (P3) y recibe sus descargas residuales. Estas familias se caracterizan por encontrarse en aguas con abundante corriente, raíces sumergidas y capaces de resistir cierto grado de contaminación, característico del sitio (López, et. al., 2010; Pacheco, 2010; Sermeño, et. al., 2010) (Figura 27). Las familias Hydropsychidae, Baetidae, Physidae y el orden Oligochaeta se encuentran presentes principalmente en el punto medio de las actividades agropecuarias (P5), sitio que se asocia a la presencia de nitratos en el medio acuático, ya que este sitio recibe la descarga de residuos de actividades de ganadería y acuicultura, estas familias pueden resistir amplios rangos de tolerancia a la contaminación.

## 7. CONCLUSIONES

1. El índice de calidad ribereño reveló que el estado del entorno ecológico en los sitios que se encuentran antes de la aldea Guadalupe es muy bueno y los que se encuentran después de la aldea son de regular a malo, debido principalmente a la influencia de las condiciones del estado del cauce, la heterogeneidad del sustrato y la ausencia o presencia de vegetación protectora.
2. Los principales factores de degradación del medio acuático fueron las elevadas concentraciones de nutrientes y coliformes fecales en el agua presentes en toda la cuenca del río, pero más marcadas después de la aldea Guadalupe.
3. Los órdenes de macroinvertebrados acuáticos con mayor abundancia de organismos para la parte alta de la cuenca fueron: Coleoptera (37.8%) y Ephemeroptera (20.2%) para la parte baja: Mesogasterópoda (60.5%), Trichoptera (14.0%) y Diptera (10.5%). Estos presentaron mayor abundancia y riqueza en abril.
4. Los índices IBF-SV2010 y BMWP-Atitlán establecen que la calidad del agua de la parte alta de la cuenca alta del río Achiguate es superior a la parte baja y durante el transcurso del tiempo de investigación la calidad del agua en ambas partes se deterioró principalmente por la presencia de lluvias.
5. Los puntos que presentan mayor influencia de las variables fisicoquímicas y presencia de familias de macroinvertebrados que provocan la degradación del medio acuático fueron los que se encuentran luego de la aldea Guadalupe.
6. Las variables fisicoquímicas que influyeron en la riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos fueron los compuestos nitrogenados, ortofosfatos, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, temperatura y la demanda bioquímica de oxígeno, que son variables que causan deterioro de la calidad del agua.

## **8. RECOMENDACIONES**

1. Establecer un programa de monitoreo sistemático de la calidad del agua en la cuenca alta del río Achiguate utilizando índices biológicos de macroinvertebrados acuáticos para llevar un control del estado de la calidad del agua y poder tomar medidas preventivas.
2. Extender los monitoreos de calidad del agua a las partes media y baja de la cuenca del río Achiguate de tal manera que se pueda determinar los focos de contaminación en cada parte de la cuenca del río y para establecer medidas de gestión del recurso hídrico.
3. Desarrollar un índice biótico a nivel de familias de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua de la cuenca del río Achiguate para la fácil determinación de la calidad del agua.
4. Divulgar en las comunidades del área de la cuenca alta del río Achiguate los resultados obtenidos en la presente investigación para que los ciudadanos tomen medidas preventivas sobre su recurso.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña Campos, E. (2013). *Determinación de la calidad del agua en la cuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad San Carlos de Guatemala [USAC].
- Agenda Guatemalteca para el Agua. (2013). *Agenda guatemalteca para el agua: Agua para todo y para todos*. Guatemala: Gobierno de Guatemala, Programa Conjunto y Fondo para el logro de los Objetivos del Milenio [FODM].
- Anleu Fortuny, R. (2008). *Zonificación de la cuenca del río Achiguate-Guacalate: Una propuesta de integración de criterios para la reducción del riesgo a desastres*. Tesis Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables. Guatemala: USAC.
- Arias, O., Dobles, R., y Ávila, M. L. (2007). *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. Costa Rica: La Gasetta Digital Diario Oficial.
- Arriola, I. (2014). *Calidad del agua en los ríos Tz'alá y Tzununá, cuenca del lago de Atitlán*. Tesis Licenciada en Acuicultura. Guatemala: USAC.
- Badii, M., Castillo, J., Cortes, K., Wong, A., y Villalpando, P. (2007). Análisis de correspondencia canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4 (2), 405-422.
- Baird, C. (2001). *Química ambiental*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J. Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. Washington D.C., United States of America: Environmental Protection Agency, and Office of Water.
- Benavides, J. (2012). *Uso del agua en Guatemala: Sostenibilidad del sistema*. Guatemala: Fundación para el Desarrollo de Guatemala [FUNDESA].
- Bouchard, R. W. (2004). *Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest*. St. Paul, Minnesota. United State of America: Water Resources Center, University of Minnesota.
- Cajo, J., & Piet, F. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57 (3), 255-289.



- Campos Gómez, I. (2003). *Saneamiento ambiental*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia [EUNED].
- Capó, M. (2007). *Principios de ecotoxicología: Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. Madrid, España: Editorial Tébar.
- Claros, J. A. (2012). *Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal*. Tesis Doctoral. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Duro, J. M., Mardoqueo, R., Vásquez, R., González, G. R., García, G. P., Argueta, J. C., y González, O. R. (Ed). (2005). *Atlas temático de la República de Guatemala (Serie de Recursos Naturales, Sociales, Productivos, Amenazas y Vulnerabilidad)*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA].
- Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., & Greenberg, A. (2005). *Standard methods: For the examination of water & wastewater*. (21st. ed.). United States of America: Centennial Edition.
- Faustino, J., y Jiménez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza [CATIE], y Área de cuencas y Sistemas Agroforestales.
- Fernández, S., Ayuga, E., González, C., y Fernández, M. (2001). *Guía completa de Statgraphics (Desde MS-DOS a Statgraphics Plus)*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Flowers, R. W., y Roca, C. de la. (2010). Ephemeroptera. *Biología Tropical*, 58 (4), 63-92.
- Gamboa, M., Reyes, R., y Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48 (2), 109-120.
- Gil Rodas de Castillo, N. (2008). *Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del río Villalobos, principal tributario del lago de Amatitlán durante los años 1996-2006*. Tesis de Maestría. Guatemala: USAC.



- Gil, J. A., Belloso, G., Vizcaino, C., Maza, I. J., Sánchez, M. C., Bolívar, C. E., y Martínez, P. D. (2013). Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitrato y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13 (1), 154-163.
- Gil, N. E. (2015). *Caracterización y evaluación de la calidad del agua de los principales afluentes de la cuenca del lago de Atitlán, río Quiscab y río San Francisco*. Guatemala: Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología [FODECYT].
- Gutiérrez Fonseca, P. E. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos* (1-59). San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Gutiérrez Fonseca, P. E., Sermeño Chicas, J. M., y Chávez Sifontes, J. M. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Plecoptera en El Salvador. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos* (1-14). San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, L. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 3-37.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [Insivumeh]. (2017a). *Análisis meteorológico del mes de junio*. Guatemala: Autor.
- Insivumeh. (2017b). *Análisis meteorológico del mes de julio*. Guatemala: Autor.
- Insivumeh. (2017c). *Análisis meteorológico del mes de mayo*. Guatemala: Autor.
- Juárez, A. R, y Martínez, P. P. (2010). *Fundamentos de control de la calidad del agua*. México: Noriega Editores.
- Lavarreda Anleu, P. (1987). *Levantamiento semidetallado de suelos de la cuenca del río Achiguate*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Guatemala: USAC.



- Leal, S. A. (2016). *Calidad del agua en la cuenca media del río Polochic, Alta Verapaz, mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores*. Tesis Licenciado en Acuicultura. Guatemala: USAC.
- López Sorto, R. E., Sermeño Chicas, J. M., y Pérez, D. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros de los órdenes Megaloptera y Neuroptera en El Salvador. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos* (1-16). San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- López, T. G. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad de agua del río Pancochá, Mixco, Guatemala*. Tesis Licenciatura en Acuicultura. Guatemala: USAC.
- Maass Moreno, J. (2015). Manejo de cuencas desde un enfoque socioecosistémico. *Cuencas de México*, 1 (1), 3-8.
- Mamani, E. N. (2012). *Propuesta de estándares nacionales de calidad ambiental para agua subterránea*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
- Marín, R. (2003). *Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de la calidad del agua*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Menjívar Rosa, R. A. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Diptera en El Salvador. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos* (1-59). San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Metcalf & Eddy. (Ed.). (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. España: McGraw-Hill.
- Ortiz, J. R. (2015). *Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, Sololá*. Tesis Licenciatura en Acuicultura. Guatemala: USAC.



- Pacheco-Chaves, B. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos (1-48)*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Padilla, T., García, N., y Pérez, W. (2010). Caracterización fisicoquímica y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19 (3), 43-46.
- Posada, J. A., y Roldán-Pérez, G. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. *Caldasia*, 25 (1), 169-192.
- Ramallo, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec, Canadá: Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Laval.
- Ramírez, A. (2010). Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 97-136.
- Ramos, R., Sepúlveda, R., y Villalobos, F. (2003). *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis*. Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Reyes, F. (2012). *Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la región Maya, Guatemala*. Tesis Maestría en Biología. Universidad de Costa Rica.
- Reyes, W. (1982). *Caracterización preliminar de la cuenca del río Achiguate*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Guatemala: USAC.
- Rock, C., y Rivera, B. (2014). *Calidad del agua Escherichia coli y su salud*. Tucson, Arizona, Estados Unidos: The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences.
- Rojas, O. (2006). *Manual básico para medir caudales*. Quito, Ecuador: Fondo para la Protección del Agua [FONAG].
- Roldán Estrada, A. (2006). *Determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa*. Tesis Química Bióloga. Guatemala: USAC.
- Roldán Pérez, G., y Ramírez Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. (2a. ed.). Antioquia, Colombia: Editorial Universitaria de Antioquia.



- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente [FEN Colombia], Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales [Colciencias], y Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. A. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23 (88), 375-387.
- Sánchez Félix, H., Guerrero Sánchez, F., y Castellanos Vásquez, M. (2005). *Ecología*. México: Editorial Umbral.
- Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., y Zambrano, L. (Eds.). (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Sermeño Chicas, J. M., Pérez, D., Muños Aguillón, S. M., Serrano Cervantes, L., Rivas Flores, A., y Monterroso Urias, A. (2010). *Metodología estandarizada de muestreo multihábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES], y Fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos [OEA].
- Sermeño Chicas, J. M., Pérez D., y Gutiérrez Fonseca, P. E. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden díptera en El Salvador. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos* (1- 3). San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Sermeño Chicas, J. M., Serrano-Cervantes, L., Springer, M., Paniagua-Cienfuegos, M. R., Pérez, D., Rivas-Flores, A. W., Menjívar-Rosa R. A., Bonilla de Torres, B. L., Arranza-Estrada, F. A., Flores-Tensos, J. M., Gonzáles, C. D. L. A., Gutiérrez-Fonseca, P. E., Hernández-Martínez, M. A., Monterrosa-Urias, A. J., y Arias de Linares, A. Y. (2010). *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: Índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (FBI-SV-2010)*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].



- Serrano Cervantes, L., y Zepeda Aguilar, A. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Lepidoptera en El Salvador*. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos (1-16)*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Springer, M. (2010). *Biomonitoreo acuático*. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 53-59.
- Springer, M., Serrano Cervantes, L., y Zepeda Aguilar, A. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera*. En Springer, M., y Sermeño Chicas, J. M. (Eds.), *Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos (1-47)*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
- Suarez, B. (2011). *Yunques hídricas de Guatemala*. Guatemala: Sistemas de Información Ambiental, y Dirección General de Planificación Programación Política y Estratégica Ambiental [DIGPEA].
- Taborá, E., Baterra M., Cárdenas, H., Wallace, M., Kawas, N., Artiga R., y Frutos, R. (2011). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada*. Tegucigalpa, Honduras: Imprentas Industriales.
- Torres Flores, J. (2008). *Análisis de la calidad del agua fisicoquímica y microbiológica del agua del río Motagua en diez puntos de muestreo ubicados en el cauce principal*. Guatemala: Dirección General de Investigación [DIGI] de la USAC.
- Wirtgen, J. (2009). *Recursos hídricos: Resumen del 2do. informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Estados Unidos: Green Facts- Facts on Health and the Environment.
- Zelada, J. (2012). *Análisis de la riqueza, composición y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los ríos, Pampumay y Panslic-Panchiguajá*. Guatemala: Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca del lago de Amatitlán [AMSA], y USAC.



## **10. ANEXO**

Parámetro	Óptimo					Subóptimo					Marginal				Pobre						
<b>1. Heterogeneidad de sustratos disponibles para la epifauna</b>	Más de 70% del sustrato es estable y puede ser colonizado por la epifauna (El trecho presenta una mezcla de piedras, troncos sumergidos o superficiales o cualquier otro sustrato estable)					Entre 40 y 70% del sustrato es estable. Además, existe un sustrato nuevo aun sin condiciones para ser habitado					Entre 20 y 40% del sustrato es estable. Frecuentemente perturbado o removido				Menos de un 20% del sustrato es estable. Ausencia de hábitats adecuados.						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>2. Empotramiento del sustrato</b>	Entre 0 y 25% de la superficie de rocas, piedras y grava está rodeada de sedimento fino.					Entre 25 y 50 % de la superficie de rocas, piedras y grava rodeadas de sedimento fino					Entre 50 y 75% de la superficie de rocas, piedras y grava rodeadas de sedimento fino				Más de un 75% de la superficie de rocas, piedras y grava rodeadas de sedimento fino						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>3. Relación profundidad y velocidad</b>	El trecho del río presenta las cuatro combinaciones siguientes: a) lento/profundo, b) lento/bajo, c) rápido/profundo, d) rápido/bajo					Sólo tres combinaciones. La ausencia de rápido/bajo determina el menor puntaje					Sólo dos combinaciones. La ausencia de rápido/bajo determina el menor puntaje				Una sola combinación presente. Usualmente lento/profundo)						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>4. Deposición de sedimentos</b>	Ausencia de islas o bancos de arenas. Menos del 5% del fondo afectado por la deposición de sedimentos					Reciente y escasa formación de bancos de piedras, arena o sedimento fino. Entre el 5 y el 30% del fondo afectado por la deposición de sedimentos; ligera deposición en los pozos					Deposición moderada de grava, arena o sedimento fino sobre bancos viejos y nuevos. Entre 30 y 50% del fondo afectado. Sedimento sobre obstrucciones, constricciones y recodos. Moderada deposición en pozos.				Grandes depósitos de material fino. Muchos bancos. Más del 50% del fondo cambia con frecuencia. Pozos casi ausentes debido a la gran deposición de sedimentos.						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>5. Estado del cauce de flujo</b>	El nivel del agua alcanza la base de las márgenes y la exposición del sustrato de fondo es mínima.					El agua sólo cubre el 75% del cauce o menos del 25% del sustrato de fondo queda expuesto.					El nivel del agua cubre entre el 25 y 75% del cauce y queda expuesta la mayor parte del sustrato de los rápidos				Muy poca agua sobre el cauce y la mayoría como pozos.						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>6. Alteración del cauce</b>	Ausencia o mínima presencia de canalización o dragado. Corriente con cauce normal.					Cierta canalización presente por puentes. Evidencia de canalización actual o pasada					Canalización extensiva. Diques u otras estructuras presentes en ambas márgenes. Entre el 40 y 80% del trecho del río canalizado y alterado.				Márgenes protegidas con gaviones o cemento. Más del 80% del trecho del río canalizada y alterado. Los hábitats internos eliminados totalmente.						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>7. Frecuencia de rápidos</b>	Ocurrencia de rápidos relativamente frecuente. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río es < 7 (generalmente 5 o 7).					Ocurrencia de rápidos poco frecuente. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río se encuentra entre 7 y 15.					Ocurrencia ocasional de rápidos. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río se encuentra entre 15 y 25.				Por lo general el agua corre sin interrupción o rápidos muy bajos. La relación distancia entre rápidos y el ancho del río es mayor a 25.						
<b>Puntos:</b>	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>8. Estabilidad de las Márgenes</b>	Márgenes estables. Ausencia de erosión o desprendimientos. Poca posibilidad de problemas futuros. Menos del 5% de la margen está afectada					Estabilidad moderada. Pequeñas áreas de erosión. Entre 5 y 30% de las márgenes del trecho tiene áreas de erosión.					Inestabilidad moderada. Entre 30 y 60% de las márgenes del trecho tiene áreas de erosión. Posibilidad de fuerte erosión durante las crecidas.				Inestabilidad completa. Áreas muy erosionadas. Frecuencia de áreas despejadas en trechos rectos y recodos. Entre 60 y 100% de las márgenes del trecho erosionadas.						
<b>Puntos:</b>	Margen Izquierda				10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
<b>Puntos:</b>	Margen Derecha				10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						

<b>9. Vegetación protectora de las riberas</b>	Más del 90% de los márgenes y la zona ribereña está cubierta por vegetación nativa incluyendo árboles, arbustos, macrofitas. Vegetación tupida natural.	Entre el 70 y 90% de los márgenes cubiertas por vegetación nativa. Vegetación algo abierta.	Entre el 50 y 70% de los márgenes cubiertas por vegetación nativa. Vegetación abierta.	Menos del 50% de los márgenes cubiertas por vegetación nativa.								
<b>Puntos:</b>	Margen Izquierda	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>Puntos:</b>	Margen Derecha	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>10. Amplitud de la vegetación ribereña</b>	Extensión de la vegetación ribereña mayor a 18 m y sin impacto antrópico.	Extensión de la vegetación ribereña entre 12 y 18 m y un mínimo impacto antrópico	Extensión de la vegetación ribereña entre 6 y 12 m y un impacto antrópico evidente.	Extensión de la vegetación ribereña menor a 6 m. Poca o ninguna vegetación debido a un fuerte impacto antrópico.								
<b>Puntos:</b>	Margen Izquierda	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>Puntos:</b>	Margen Derecha	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>TOTAL</b>												

*Anexo 1. Boleta de evaluación del entorno ecológico*

Sitios	Abril	Mayo	Junio	Julio
P1	0.19	0.32	0.59	0.39
P2	0.32	0.6	0.72	0.65
P3	0.41	0.65	1.24	0.95
P4	0.36	0.44	1.04	1.07
P5	0.66	1.11	0.97	1.06
P6	1.16	0.82	1.68	1.24
Caudal promedio mensual	0.52	0.66	1.04	0.89
Caudal promedio cuenca	0.78			

*Anexo 2. Registro del caudal promedio de los sitios de muestreo mensual y de la cuenca alta del río Achiguate*

Orden	Familia	Abril						Mayo						Junio						Julio						Total
		PA			PB			PA			PB			PA			PB			PA			PB			
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Basommatophora	Physidae	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	33
Blattodea	Blaberidae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Coleoptera	Dytiscidae	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	Elmidae	352	110	48	87	88	110	78	35	64	63	51	17	71	57	51	27	46	46	127	50	50	35	54	8	1725
	Ptilodactylidae	9	1	-	-	1	-	2	-	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	19
	Staphylinidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3
Decapoda	Pseudothelphusidae	5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	10
Diptera	Ceratopogonidae	-	-	-	-	-	-	-	5	8	4	72	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	94	
	Chironomidae	-	10	3	7	10	501	1	2	12	20	43	172	8	-	7	24	16	138	36	27	24	20	46	41	1168
	Dixidae	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	Psychodidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
	Simuliidae	6	31	2	-	113	2	-	5	3	-	13	4	5	1	-	3	1	-	31	23	-	2	-	3	248
	Tipulidae	5	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	1	-	-	11
Ephemeroptera	Baetidae	32	21	54	6	30	36	2	4	11	4	137	35	7	3	8	2	32	-	18	13	-	-	36	4	495
	Leptohyphidae	112	75	4	9	22	396	9	19	48	12	33	25	33	10	43	8	7	11	43	11	4	14	8	1	957
	Leptophlebiidae	7	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
Hemiptera	Belostomatidae	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	Naucoridae	2	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	6
	Velidae	5	260	46	111	-	7	-	-	19	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	451
	Gerridae	-	8	-	-	-	-	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34
Lepidoptera	Pyralidae	4	2	-	2	2	-	-	-	-	-	4	-	1	-	-	-	-	-	2	1	-	-	1	-	19
Megaloptera	Corydalidae	1	3	7	3	-	5	-	4	-	2	1	-	-	2	2	-	1	2	1	6	4	-	4	13	61
Mesogasteropoda	Thiaridae	-	-	-	-	5106	-	-	-	-	3	423	-	-	-	-	-	1044	-	-	-	-	-	763	-	7339
Odonata	Calopterygidae	9	3	1	11	1	25	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	53
	Libellulidae	3	11	2	12	-	2	-	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
	Perisolestidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	Platystictidae	-	-	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Oligochaeta		-	-	1	-	47	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52
Plecoptera	Perlidae	44	9	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	2	1	1	-	-	-	3	1	-	-	1	-	65
Trichoptera	Calamoceratidae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	4
	Glossosomatidae	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	Hydrobiosidae	-	11	3	4	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
	Hydropsychidae	187	16	71	18	178	469	14	12	30	1	235	44	28	6	12	12	233	13	56	3	2	2	336	96	2074
	Hydroptilidae	13	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
	Lepidostomatidae	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
	Leptoceridae	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	Phylopotamidae	5	-	13	-	3	12	-	-	2	-	9	7	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	56
Total		808	578	256	278	5620	1573	109	83	227	123	960	392	160	86	128	76	1380	214	323	135	87	79	1249	167	15091

Anexo 3. Listado taxonómico de macroinvertebrados acuáticos por sitio y temporalidad

Puntajes o Grados de sensibilidad a la contaminación de las aguas	Invertebrado acuático en los ríos de El Salvador					
	Orden	Familia				
0	Diptera	Blephariceridae				
1	Odonata	Corduliidae				
		Platystictidae				
2	Trichoptera	Glossosomatidae				
	Odonata	Cordulegasteridae				
3	Plecoptera	Peridae				
		Trichoptera	Calamoceratidae			
			Lepidostomatidae			
			Odontoceridae			
4	Xiphocentronidae					
		Blattodea				
			Coleoptera	Gyrinidae		
				Lampyridae		
				Ptilodactylidae		
Ephemeroptera	Heptageniidae					
Trichoptera	Polycentropodidae					
5	Bivalvia					
		Gastropoda	Hydrobiidae			
			Coleoptera	Dryopidae		
				Elmidae		
				Hydroscaphidae		
				Noteridae		
				Psephenidae		
			Hemiptera	Pleidae		
			Odonata	Aeshnidae		
			Trichoptera	Hydrobiosidae		
Hydroptilidae						
Leptoceridae						
6	Acarina					
		Nematoda				
			Planaria			
				Amphipoda		
					Coleoptera	Hydraenidae
						Limnichidae
						Lutrochidae
					Collembola	
					Diptera	Dixidae
						Tipulidae
Ephemeroptera	Leptophlebiidae					

Anexo 42. Punteo de grados de sensibilidad a la contaminación del IBF (SV-2010) Parte 1

	Hemiptera	Corixidae
		Gelastocoridae
		Mesovelidae
		Nepidae
		Notonectidae
		Saldidae
		Velidae
	Lepidoptera	Crambidae
	Trichoptera	Helicopsychidae
Hydropsychidae		
Philopotamidae		
6	Decapoda	
	Coleoptera	Curculionidae
		Scirtidae
		Staphylinidae
	Diptera	Dolichopodidae
		Empididae
		Simuliidae
		Stratiomyidae
		Tabanidae
	Ephemeroptera	Baelidae
		Leptohyphidae
	Hemiptera	Gerridae
		Hebridae
Naucoridae		
Odonata	Lestidae	
7	Hirudinea	
	Gastropoda	Planorbidae
	Coleoptera	Dytiscidae
		Hydrophilidae
	Diptera	Psychodidae
	Ephemeroptera	Caenidae
	Hemiptera	Belostomatidae
		Ochteridae
	Megaloptera	Corydalidae
	Odonata	Calopterygidae
Gomphidae		
Libellulidae		
8	Diptera	Ceratopogonidae
		Chironomidae
9	Gastropoda	Physidae
	Diptera	Ephydriidae
		Muscidae
		Odonata
10	Oligochaeta	
	Diptera	Culicidae
		Syrphidae

Anexo 5. Punteo de grados de sensibilidad a la contaminación del IBF (SV-2010) Parte 2

9	O D E P T	Polythoridae Blephariceridae; Athericidae Heptageniidae Perlidae Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E O T B	Leptophlebiidae Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae Blaberidae
7	C O T Cr	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Platystictidae Philopotamidae Talitridae; Gammaridae
6	O M T E	Libellulidae Corydalidae Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae Euthyplociidae; Isonychidae
5	L T C E Cr Tr	Pyralidae Hydropsychidae; Helicopsychidae Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae Crustacea Turbellaria
4	C D H O E Hi	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae Calopterygidae; Coenagrionidae Caenidae Hidracarina
3	C D Mo A Cr	Hydrophilidae Psychodidae Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeriidae Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Asellidae
2	D	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D A	Syrphidae Oligochaeta (todas las clases)

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco.

#### Anexo 6. Punteo para las familias identificadas con BMWP-CR