

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos
de la calidad de agua del río Pancochá, Mixco, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Thalya Gabriela López Méndez

Para otorgarle el título de:

LICENCIADA EN ACUICULTURA

Guatemala, agosto de 2016

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos
de la calidad de agua del río Pancochá, Mixco, Guatemala**



Presentado por:

T. A. Thalya Gabriela López Méndez

Para otorgarle el título de:

LICENCIADA EN ACUICULTURA

Asesor:

Lic. José Roberto Ortíz

Guatemala, agosto de 2016

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

Consejo Directivo

Director	M. Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle
Secretario	M.Sc. Kathya Iturbide Dormon
Representante docente	M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Representante docente	M. A. Olga Marina Sánchez Cardona
Representante del Colegio de Médicos	
Veterinarios y Zootecnistas	M. Sc. Adrián Mauricio Castro López
Representante estudiantil	Lic. Francisco Emanuel Polanco Vásquez
Representante estudiantil	T. A. María José Mendoza Arzu

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-, al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.

A mis profesores, por darme la preparación académica y práctica adecuada para poder graduarme.

Al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-; a todo el personal de la Dirección de Recursos Hídricos y Cuencas, principalmente a la Licda. Lourdes Castilla y al Departamento de Control y Vigilancia Ambiental.

A mi asesor, Lic. José Roberto Ortíz, por su ayuda incondicional en el desarrollo de este proyecto de investigación y por su invaluable amistad.

A los guarda recursos del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, por su apoyo incondicional y por el acompañamiento brindado durante la investigación.

DEDICATORIA

- A DIOS: Por derramar muchas bendiciones en mi vida.
- A MIS PADRES: Por brindarme su apoyo incondicional, por todo su amor, sacrificio y dedicación.
- A MIS HERMANOS: Por ser mi compañía y apoyarme en todo momento.
- A MIS AMIGOS: Por compartir mis alegrías y mis triunfos, por formar parte de muchos de los mejores momentos de mi vida, por estar en las buenas y en las malas.
- A LA FAMILIA DONIS ORTIZ: Por ser como mi segunda familia, por su apoyo incondicional y cariño.

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó una descripción de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Pancochá, en relación a su diversidad, abundancia y distribución.

Se realizaron tres muestreos (abril, julio y septiembre 2015), en los cuales se recolectaron muestras de macroinvertebrados acuáticos y de agua, de la parte alta, media y baja del río Pancochá, las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.

Se recolectaron 438 individuos, 209 durante la época seca (abril), 195 durante la época de transición (julio) y 34 en la época lluviosa (septiembre). Se identificaron 14 familias, 6 órdenes y 1 clase.

Se realizó un CCA (análisis de correspondencia canónica) para correlacionar parámetros físicos con biológicos, para verificar el estado en el que se encuentra el río y la afinidad que tienen estos organismos con los parámetros.

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

ABSTRACT

In this thesis, it has been made a description about the water macroinvertebrates communities from the Pancochá river, related with its biodiversity, abundance and distribution.

Three sampling were performed in three different dates (april, july and september 2015), in which macroinvertebrates and water samples were collected from the upper, middle and lower parts in the Pancochá river. The samples were processed in the biological and oceanographic sciences lab from Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-.

They were collected 438 individuals, 209 during the dry season (april), 195 during the transition season (july) and 34 in the rainy season (september). They were identified 14 families, 6 orders and 1 class.

A CCA (Canonical Correspondence Analysis) was made to correlate physic parameters with the biological ones, to verify the status in which the river is, and the affinity that this organisms have with those parameters.

The present thesis is a first effort to describe the water macroinvertebrates communities in the Pancochá river, it may be used as baseline for future scientific researching projects.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. MARCO TEÓRICO	4
4. OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo general	11
4.2 Objetivos específicos	11
5. METODOLOGÍA	12
5.1 Ubicación geográfica	12
5.1.1 Zonas de vida	13
5.2 Variables	14
5.3 Selección de la muestra	14
5.4 Descripción de los sitios de muestreo	15
5.5 Muestreo	17
5.6 Procedimiento	18
5.6.1 Toma de muestras de agua y medición de parámetros fisicoquímicos	18
5.6.2 Recolecta de macroinvertebrados acuáticos	20
5.6.3 Identificación de macroinvertebrados acuáticos	22
5.7 Análisis de la información	23
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1 Macroinvertebrados acuáticos	24
6.1.1 Diversidad	24
6.1.2 Abundancia	27
6.2 Parámetros fisicoquímicos	30
6.3 Análisis de correspondencia canónica (ACC)	32
7. CONCLUSIONES	36
8. RECOMENDACIONES	37
9. BIBLIOGRAFÍA	38
10. ANEXO	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1.	Ubicación y delimitación de la microcuenca del río Pancochá.	12
Figura No. 2.	Zonas de vida	13
Figura No. 3.	Puntos de muestreo	15
Figura No. 4.	Microcuenca Pancochá río las Flores (parte alta)	16
Figura No. 5.	Parte media microcuenca Pancochá, Nacimiento	16
Figura No. 6.	Parte baja microcuenca Pancochá, reforestación Pansalic	17
Figura No. 7.	Toma de muestras de agua, para análisis fisicoquímicos	18
Figura No. 8.	Determinación de DBO	19
Figura No. 9.	Filtrado de muestras de agua para análisis fisicoquímicos	19
Figura No. 10.	Determinación de parámetros fisicoquímicos	20
Figura No. 11.	Red en “D”	21
Figura No. 12.	Colecta de macroinvertebrados	21
Figura No. 13.	Fijación de muestras de macroinvertebrados, con alcohol etílico al 95%	22
Figura No. 14.	Abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo en época seca, de transición y lluviosa	27
Figura No. 15.	Abundancia de las dos familias principales de macroinvertebrados acuáticos en la parte alta del río Pancochá	28
Figura No. 16.	Abundancia de las dos familias principales de macroinvertebrados acuáticos en la parte media del río Pancochá	29
Figura No. 17.	Abundancia de las dos familias principales de macroinvertebrados acuáticos en la parte baja del río Pancochá	30
Figura No. 18.	Ordenación de los sitios de muestreo con relación a los macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1.	Variables fisicoquímicas y biológicas a evaluar en cada punto de muestreo	14
Cuadro No. 2.	Tipo y número de muestras por monitoreo	17
Cuadro No. 3.	Diversidad de macroinvertebrados en los sitios de muestreo	24
Cuadro No. 4.	No. De familias de macroinvertebrados en las diferentes épocas de muestreo del río Pancochá	25
Cuadro No. 5.	Listado taxonómico y abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo	26
Cuadro No. 6.	Resultado de análisis fisicoquímicos	31
Cuadro No. 7.	Familias de macroinvertebrados asociadas a la buena y mala calidad del agua según parámetros físico-químicos.	35

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala tiene una superficie de 108,889 km², donde están incluidas 4 grandes provincias fisiográficas, en donde se encuentran grandes planicies, cordilleras, laderas, valles, quebradas, cañones cortados por ríos, los cuales forman cuencas hidrográficas. Las poblaciones que habitan en las cuencas, ejercen una fuerte presión sobre los recursos naturales allí presentes, haciéndose notar sus efectos en la disminución de la calidad de vida y aumentando el costo de ésta al ser más escasos los recursos físicos, lo que presenta un problema, debido a la falta de planes de manejo dentro del sistema de cuencas para garantizar la sostenibilidad de las áreas (Manzo, 2008).

Las principales amenazas de la Cordillera Alux, son la urbanización desordenada (asociada al crecimiento demográfico), la contaminación de fuentes de agua, el aumento de la demanda de productos maderables y el desconocimiento de la normativa vigente del área de la Cordillera, el río Pancochá se encuentra localizado en la parte central de la cordillera, es importante mencionar que durante la época de invierno presenta un caudal elevado y alta biodiversidad (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], 2014).

Dada la enorme presión poblacional sobre los recursos forestales, la situación hídrica de la Cordillera Alux es crítica. Desafortunadamente no existen estudios de caudales, que permitan conocer mensualmente la oferta de agua de parte de los ríos de la Cordillera y poder relacionar los caudales en la época de estiaje y los caudales de la época lluviosa (CONAP, 2014).

La poca información científica relacionada a la calidad del agua del río Pancochá, hizo que este informe de investigación, generara datos sobre el estado actual en el que se encuentra el río. El uso de factores físicos, químicos y biológicos fué utilizado para determinar la calidad del agua del río Pancochá utilizando a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos, brindando estrategias de manejo para poder preservar los recursos que dentro de esta microcuenca se encuentran.

2. ANTECEDENTES

Se realizó una interpretación quimiométrica, del promedio anual de los resultados de diferentes parámetros evaluados, de los principales afluentes del Río Villalobos, para analizar la información se utilizaron diversas metodologías estadísticas, entre las que se encuentran las siguientes: estadística descriptiva, análisis de varianza de una vía entre puntos de muestreo, análisis de varianza de una vía entre los diferentes años investigados, análisis de cluster y análisis factorial (Castillo, 2008).

En la actualidad la presión que ejercen las poblaciones dentro y fuera de la microcuenca del río Pancochá, afecta los recursos naturales, principalmente en la calidad y cantidad del agua superficial, la cual es un suministro para dichas poblaciones, como también en la deforestación y los incendios forestales, afectando principalmente la flora, fauna y el recurso hídrico en las secciones media y alta de la microcuenca (Fajardo, 2011).

Se llevó a cabo un análisis de correspondencia canónica con el fin de relacionar variables físicas y químicas del agua con la diversidad de macroinvertebrados, en estos análisis se pudo determinar la tendencia de los macroinvertebrados a distribuirse según la concentración de oxígeno disuelto y la cantidad de nutrientes (nitritos y ortofosfatos). Por lo que concluye que existe una tendencia de los macroinvertebrados a distribuirse según los parámetros físicos y químicos del agua (Zelada, 2012).

Se realizó una descripción de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del lago de Atitlán, en relación a su diversidad, abundancia y distribución. Así mismo se relacionaron los distintos taxa, las variables fisicoquímicas y granulométricas de la zona bentónica para determinar si la distribución de los organismos se ve influenciada por las condiciones ambientales (Ortiz, 2015).

Se determinó la composición y estructura de comunidades de macroinvertebrados bentónicos y su relación con factores ambientales en condiciones naturales y alteradas. Se tomaron muestras en cuatro sitios de referencia (bosque) y ocho sitios con perturbación antropogénica

(cultivos y poblados), distribuidos uniformemente a lo largo de la Cuenca del Lago de Atitlán (Reyes, 2012).

3. MARCO TEÓRICO

4.1 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es toda el área de terreno que contribuye al flujo de agua en un río o quebrada. También se conoce como el área de captación o área de terreno de donde provienen las aguas de un río, quebrada, lago, laguna, humedal, estuario, embalse, acuífero, manantial o pantano (Dombeck, 2007).

Características de una cuenca hidrográfica:

- La curva cota superficie: esta característica es además una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.
- El coeficiente de forma: da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.
- El coeficiente de ramificación: también da indicaciones preliminares respecto al tipo de onda de avenida (Dombeck, 2007).

Principales cuencas hidrográficas:

- Cuencas endorreicas: son aquellas que las aguas no llegan al mar que tienen como resultado la formación de sistemas de agua estancada (como lagos o lagunas).
- Cuencas exorreicas: son aquellas que drenan sus aguas al mar o al océano y que por lo tanto no quedan encerradas entre los diferentes conjuntos de montañas.
- Cuencas arreicas: son aquellas en que las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje (Videz, 2010).

Partes que forman una cuenca:

- Cuenca alta: que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.
- Cuenca media: la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

- Cuenca baja: la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección (Videz, 2010).

Las cuencas, sean endorreicas, exorreicas o arreicas, pueden generar un gran número de afluentes que caen todos en el curso de agua principal, ya sea el mar, lagos o lagunas. Al mismo tiempo, a medida que esos afluentes se acercan a su destino final van perdiendo la intensidad original que tenían al comenzar su curso de descenso (Videz, 2010).

3.1.1 Subcuenca hidrográfica

Ríos secundarios que desaguan en un río principal, desembocando en una respectiva cuenca que se denomina subcuenca (Dombeck, 2007)

4.2 Cuerpos de agua lóticos

Es el ecosistema de un río, arroyo o manantial. Incluido en el medio ambiente están las interacciones bióticas (entre plantas, animales y microorganismos) así como las interacciones abióticas (físicas y químicas) (Dombeck, 2007).

El adjetivo *lótico* se refiere al agua fluvial, del Latín *lotus*, participio pasado de *lavere*, lavar. Los ecosistemas lóticos pueden contrastarse con los ecosistemas lénticos, término que abarca las aguas terrestres relativamente estancadas tales como lagos y estanques. Juntos, estos dos ecosistemas forman el campo de estudio general de la limnología, que puede contrastarse a la oceanografía (Dombeck, 2007).

Las aguas lógicas pueden tener diversas formas, del venero con unos cuantos centímetros a los grandes ríos con un cauce de varios kilómetros de ancho. A pesar de tales diferencias, las siguientes características comunes hacen de la ecología de las corrientes de agua un hábitat único, distinto de otros hábitats acuáticos:

- El flujo es unidireccional.
- Presenta un estado de cambio físico continuo.

- Hay muchos grados de heterogeneidad espacial y temporal, a todas las escalas (micro-hábitats).
- Gran diversidad de ecosistemas lóticos.
- La biota está especializada para vivir en condiciones fluviales (Dombeck, 2007).

4.3 Parámetros físicos

- Color: es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales [PROSAP], 2005).
- Temperatura: Básicamente importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores etc. (Juárez, y Martínez, 2010).

4.4 Parámetros químicos

Son los más importantes para definir la calidad del agua. Si el agua en estudio no ha recibido vertidos urbanos o industriales.

- pH: mide la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua (Juárez, y Martínez, 2010).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica (Juárez, y Martínez, 2010).

4.5 Parámetros biológicos

Se refiere a la presencia de microorganismos patógenos de diferentes tipos, bacterias, virus, protozoos, y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, etc. (PROSAP, 2005).

4.5.1 Macroinvertebrados acuáticos

Bajo el término de macroinvertebrados se agrupan los organismos que se pueden observar a simple vista; es decir, en términos generales, todos aquellos que tienen tamaños superiores a 0.5mm de largo. Dentro de esta categoría están los poríferos, hidrozooos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos (Roldan, y Ramírez, 2008).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Odonata

Hemimetábolos. Todos son acuáticos en sus etapas inmaduras y en Costa Rica hay 14 familias. Las ninfas son depredadores y se reconocen por tener un labio altamente modificado para atrapar presas, el cual es fácil de observar debajo de la cabeza; este labio permanece doblado en reposo pero se extiende rápidamente hacia adelante cuando la ninfa tiene una presa en frente. La mayoría vive sobre el fondo o la vegetación sumergida (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Trichoptera

Los tricópteros tienen un solo par de propatas al final del abdomen (con una sola uña). Viven en muchos tipos de agua dulce y su biología es diversa. Muchas larvas usan seda para armar casitas de piedras, material vegetal y hasta de conchas de caracoles; otros construyen una red de seda para filtrar el agua y algunos no construyen ni casita ni red (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Ephemeroptera

El orden de los efemerópteros (efímeras) es un grupo de frágiles insectos exclusivamente acuáticos y relativamente primitivos. Presentan una característica única entre los insectos, la de poseer un estadio terrestre volador (el “sub-imago”) previo al del adulto sexualmente maduro (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

Los efemerópteros poseen metamorfosis incompleta (hemimetábolos). Las hembras adultas ponen los huevos directamente en el agua, ya sea en la superficie o debajo del agua, a veces

muriendo en el proceso. El estadio inmaduro (ninfa) puede durar desde unas pocas semanas hasta un año o más en su desarrollo. El número de mudas varía entre las especies, aún dentro de la misma especie, dependiendo de las condiciones ambientales (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

El estadio de la ninfa es el único momento en la vida en que la efímera se alimenta. La transición de ninfa madura a subimago es el momento más delicado y peligroso en la vida de las efímeras. Las ninfas pueden nadar hacia la superficie, flotar o caminar fuera del agua para que emerja el subimago, o éste puede emerger bajo el agua, nadar hacia la superficie y volar hacia algún sitio de descanso en la vegetación circundante (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Hemiptera

Los hemípteros se reconocen por las piezas bucales en forma de proboscis (“pico”), siendo la gran mayoría de las especies acuáticas depredadores y muchas de ellas capaces de picar muy doloroso (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Diptera

Hay alrededor de 100 familias de moscas en Costa Rica, de las cuales aproximadamente 20 tienen especies acuáticas; más o menos la mitad de estas familias contienen exclusivamente (o casi exclusivamente) especies acuáticas mientras que la otra mitad incluyen especies acuáticas y terrestres. Las larvas terrestres; de las seis clases, cuatro se presentan en agua dulce (las otras dos son pequeñas y exclusivamente marinas). En contraste con los insectos, los crustáceos tienen un número variable de patas (dependiendo del grupo) y tienen dos pares de antenas, aunque un par puede ser muy reducido (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Coleoptera

Hay más de 100 familias de escarabajos en Costa Rica y alrededor de 15 de éstas son principalmente acuáticas, aunque Hydrophilidae (Figura No. 35) y Ptilodactylidae tienen también muchas especies terrestres. Algunas otras familias, principalmente terrestres, tienen muy pocas especies acuáticas (p. ej. Curculionidae y Chrysomelidae) o tienen algunas especies

semiacuáticas (p. ej. Staphylinidae. En la mayoría de los casos tanto las larvas como los adultos son acuáticos, pero en Psephenidae y Ptilodactylidae solo las larvas son acuáticas, mientras que en Dryopidae solo los adultos son acuáticos. 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 (Springer, Ramírez, y Hanson, 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 (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Plecoptera

El orden Plecoptera (“Plecos”=“Plegar”, “Pteros”=“Alas”), también conocido como moscas de la piedra, es un grupo relativamente pequeño de insectos. Las ninfas de la región centroamericana se reconocen fácilmente por tener dos cercos terminales, branquias torácicas y un par de uñas en cada pata. Morfológicamente, tienden a ser confundidas con las efímeras (Ephemeroptera), pero se diferencian de éstas usando una combinación de las características mencionadas anteriormente (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

- Filo Arthropoda: Clase Insecta: Orden Megaloptera

Todos son acuáticos en sus etapas larvales, las cuales son similares a ciertas larvas de Coleoptera. Es un orden pequeño con solo dos familias. Los Corydalidae son grandes y viven principalmente en aguas con corriente mientras que los Sialidae (una familia menos común) 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 (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

4.6 Bioindicación y biomonitoreo

- **Bioindicación:** Es una técnica de evaluación ambiental que a lo largo de los años se ha venido consolidando como método para la detección y control de la toxicidad en un determinado ecosistema. Esta técnica emplea organismos vivos a través de los cuales los científicos leen el tipo de contaminante y el grado de toxicidad (Sermeño, et al., 2010).
- **Biomonitoreo:** Es un conjunto de técnicas basadas en la reacción y sensibilidad de distintos organismos vivos a diversas sustancias contaminantes presentes en los cuerpos de agua (Sermeño, et al., 2010).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Determinar la calidad del agua del río Pancochá, utilizando a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos y biológicos durante las épocas seca, transición y lluviosa, del río Pancochá en su cuenca alta, media y baja.
- Determinar la diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos del río Pancochá, en su cuenca alta, media y baja.
- Determinar la relación entre la presencia y abundancia de los diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos, con los parámetros fisicoquímicos del río Pancochá.

5. METODOLOGÍA

5.1 Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en la microcuenca del río Pancochá, la cual se encuentra ubicada en la parte central de la Cordillera Alux, en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala, cuenta con una superficie de 805.76 ha (8.06 km²) (Fajardo, 2011).

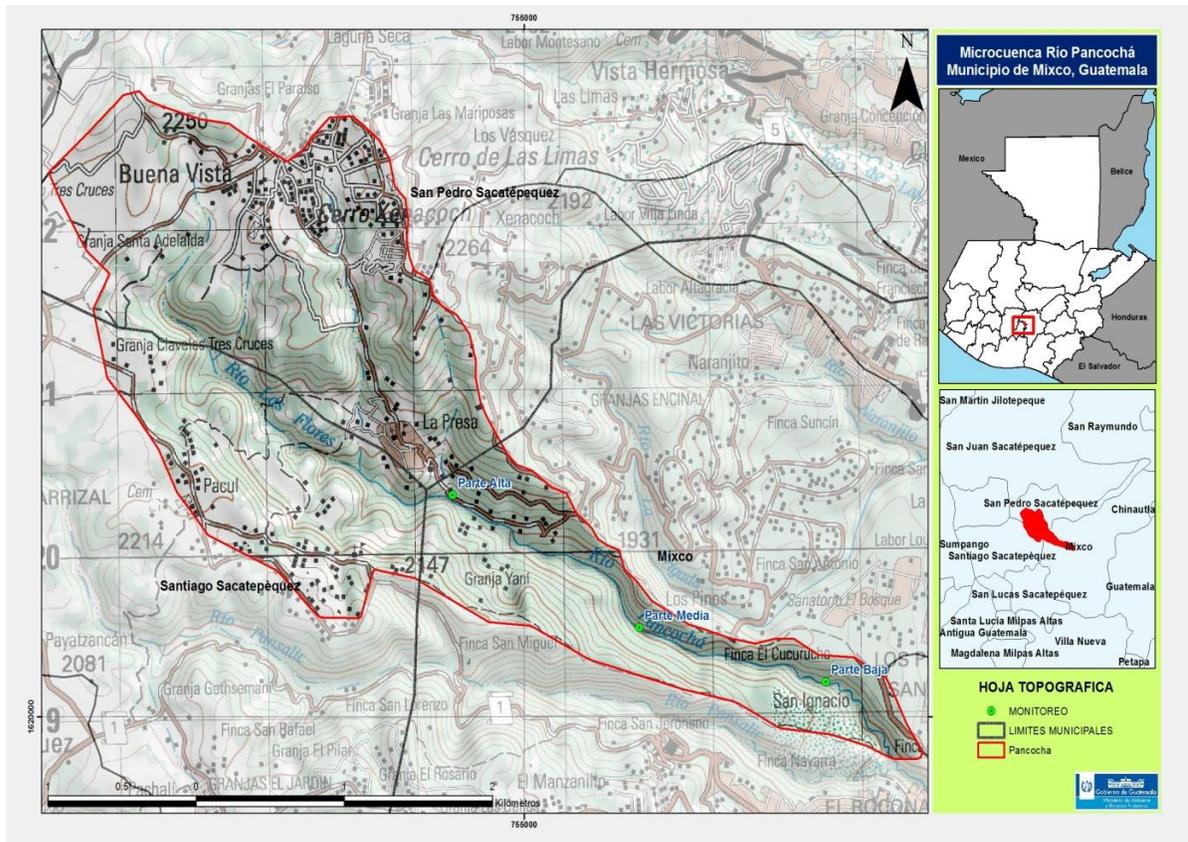


Figura No. 1. Ubicación y delimitación de la microcuenca del río Pancochá
(Trabajo de campo, 2015)

5.1.1 Zonas de vida

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Guatemala:

La microcuenca corresponde al Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (Bh-Mb) (Cruz, 1982). Las principales especies indicadoras de esta zona de vida son los Encinos (*Quercus conspersa*, *Quercus tristis*, *Quercus brachistachys*), asociados generalmente con algunas especies de Pino (*Pinus pseudostrobus*, *Pinus maximinoi*), razón por la cual se denominan “Bosques de Pino-Encino” (CONAP, 2008).

Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical Bh-Mb

La mayor parte de su topografía es plana y se utiliza mucho para actividades agrícolas. Las alturas que se presentan pueden variar de 1500 a 2400 msnm, (León, 2010).

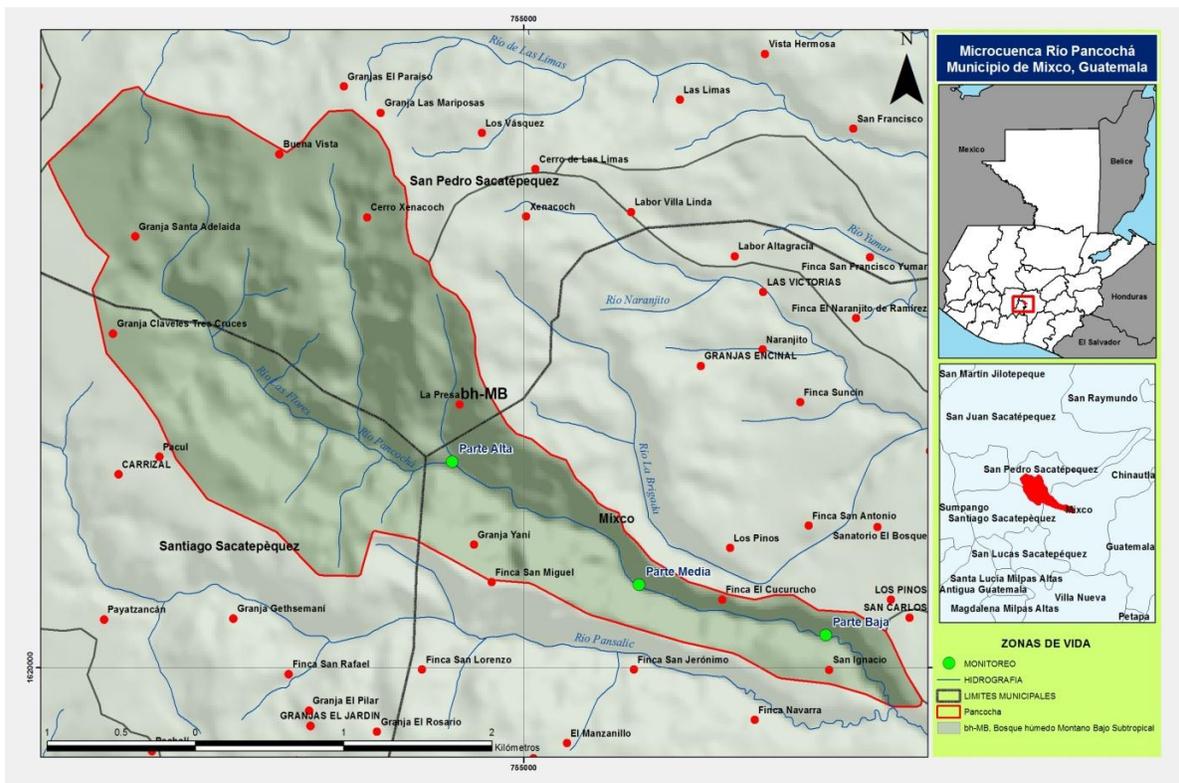


Figura No. 2. Zonas de vida (Trabajo de campo, 2015)

5.2 Variables

En cada punto de muestreo se tomaron muestras de agua para determinación de parámetros fisicoquímicos, temperatura, pH, materia flotante, fosfatos, nitritos, nitratos y demanda bioquímica de oxígeno en 5 días y muestras biológicas de macroinvertebrados acuáticos (Cuadro No. 1).

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

Variable	Indicador
Temperatura (T°)	°C
Materia Flotante (MF)	Ausencia/presencia
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L
Ortofosfatos (PO ₄ ⁻³)	mg/L
pH	Unidades de potencial de hidrógeno
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L
Macroinvertebrados acuáticos	Familia

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

5.3 Selección de la muestra

La selección de los puntos de muestreo fueron tomados a criterio de paneles expertos, tomándose como referencia la parte alta, media y baja de la microcuenca Pancochá.

- Parte alta (PA): Microcuenca Pancochá, río las Flores con coordenadas N 14°39'12.2" W90°38'11.2"
- Parte media (PM): Nacimiento, con coordenadas N 14°38'45.4" W090°37'29.4"
- Parte baja (PB): Reforestación río Pansalic, con coordenadas N14°38'35.6" W 90°36'46.9"

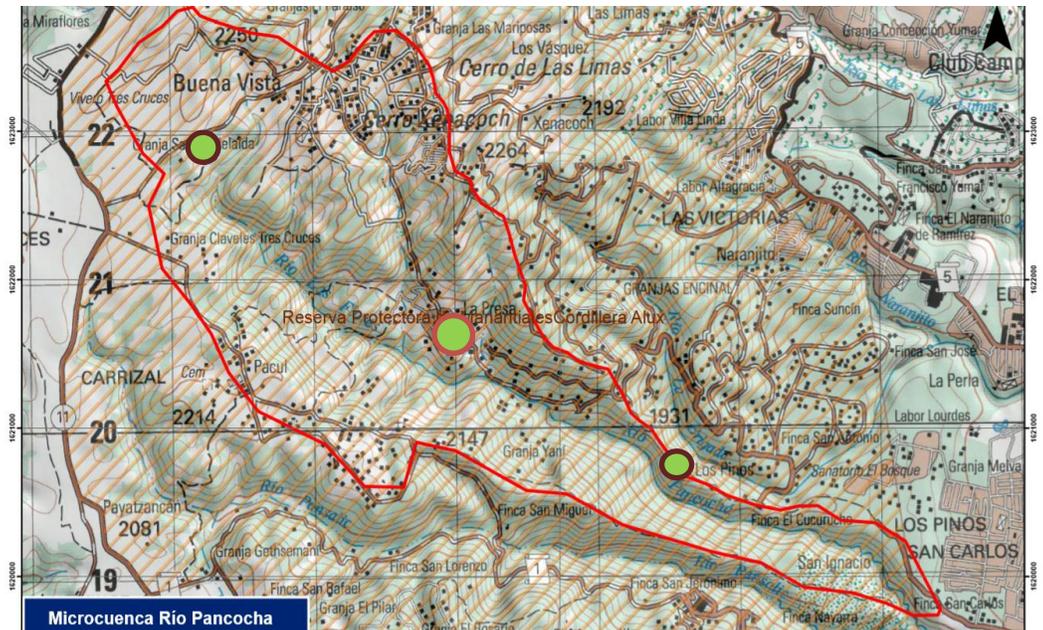


Figura No. 3. Puntos de muestreo (Fajardo, 2015)

5.4 Descripción de los sitios de muestreo

- Microcuenca Pancochá río Las Flores (PA)

El transecto de la Microcuenca Pancochá río Las Flores se realizó en un punto cercano a una planta de tratamiento, la cuál presentaba sustrato predominante arenoso con muchas rocas de tamaño considerable, bastante corriente de agua con abundante vegetación, cerca de este punto se pudo observar la cercanía de personas con viviendas aledañas a este punto de muestreo, considerando este el sitio con mayor intervención antropogénica, (Figura No. 4).



Figura No. 4. Microcuenca Pancochá río las Flores (parte alta) (Trabajo de campo, 2015)

- Nacimiento (PM)

El transecto para este punto se realizó frente a un nacimiento de agua, este punto presentaba sustrato rocoso y lodoso, con presencia de hojarasca, bastante vegetación, presencia de organismos (peces y otros) y abundantes rocas (Figura No. 5).



Figura No. 5. Parte media microcuenca Pancochá, Nacimiento
(Trabajo de campo, 2015)

- Reforestación Pansalíc (PB)

El transecto de la Reforestación Pansalíc se realizó a pocos metros de la unión con el río Pansalíc, con sustrato predominante arenoso rocoso, con poca vegetación, abundantes rocas, presencia de vida (peces y otros organismos), aguas claras durante la época de verano, en este

punto se encontró presencia de basura proveniente de comunidades cercanas, uno de los guarda recursos indicó que las personas utilizaban este punto como área recreativa (Figura No. 6).



Figura No. 6. Parte baja microcuenca Pancochá, reforestación Pansalic
(Trabajo de campo, 2015)

5.5 Muestreo

Se realizaron 3 muestreos en el río Pancochá, correspondientes a la época seca, de transición y lluviosa, en abril, junio y septiembre respectivamente, en cada punto de muestreo se tomaron y analizaron muestras de macroinvertebrados y agua, sumando un total de 27 muestras (Cuadro No. 2).

Cuadro No. 2. Tipo y número de muestras por monitoreo

Tipo de muestra	Cantidad de muestras por monitoreo	Total de muestras durante la investigación
Parámetros fisicoquímicos	3	9
Microbiología	3	9
Macroinvertebrados	3	9
Total		27 muestras

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

5.6 Procedimiento

5.6.1 Toma de muestras de agua y medición de parámetros fisicoquímicos

En cada punto de muestreo se procedió con las mediciones de los siguientes parámetros fisicoquímicos *In situ*: pH y Temperatura. Para realizar estas mediciones se utilizó un medidor HANNA Básico HI98107. Al finalizar las mediciones *In situ* se tomó una muestra de agua para determinar la demanda bioquímica de oxígeno, nitritos, nitratos, ortofosfatos y color, en un recipiente de plástico de 1 galón (Figura No. 7).



Figura No. 7. Toma de muestras de agua, para análisis fisicoquímicos
(Trabajo de campo, 2015)

Al momento de la toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos, se lavó tres veces el recipiente que se utilizó, con el fin de formar una película de la muestra sobre el frasco. El recipiente posteriormente se etiquetó, conteniendo datos como la fecha, hora de muestreo, encargado y observaciones si fueran necesarias. Las muestras de agua se transportaron en hieleras con abundante hielo, para mantener una temperatura entre los 0 - 4°C; al Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas de CEMA en donde se realizaron los análisis fisicoquímicos y la identificación de macroinvertebrados.

La DBO₅ se determinó en base al método respirométrico Oxitop, para el cuál se sembraron 432 mL de la muestra de agua y se incubaron durante cinco días a una temperatura de 20°C (Figura No. 8).



Figura No. 8. Determinación de DBO (Trabajo de campo, 2105)

Previo a la determinación de cada parámetro se procedieron a filtrar cada muestra de agua con una bomba de vacío con filtros de fibra de vidrio de 47 μ m (Figura No. 9).



Figura No. 9. Filtrado de muestras de agua para análisis fisicoquímicos (Trabajo de campo, 2015).

Para el análisis de nitratos se utilizó el kit comercial de Merck 1.09713.0001 método fotométrico DMP. Para el análisis de fosfatos, se utilizó el Kit comercial Merck 1.14729.0001 método fotométrico PMB. Fosfatos y color determinados también con kit comercial utilizando para cada análisis el fotómetro Spectroquant NOVA 60, con una transmitancia de 550 nm en una cubeta de 50 mm (Figura No. 10).



Figura No. 10. Determinación de parámetros fisicoquímicos (Trabajo de campo, 2015).

5.6.2 Recolecta de macroinvertebrados acuáticos

Para la recolección de los macroinvertebrados acuáticos se empleó la metodología de muestreo multi-hábitat con red en D, la cual consistió en:

Seleccionar un tramo del río no superior a 50 m, en donde el tiempo estipulado a muestrear fue de 15 minutos, tomando en cuenta que para la recolección de los macroinvertebrados se tomaron 5 minutos por submuestras (3) la red se colocó lo más cerca al sustrato a contracorriente, seleccionando hábitats variables como la presencia de hojarasca, tipo de corriente (alta, moderada o baja), rocas etc. (Sermeño, et al., 2010), (Figura No. 11).

Las muestras se introdujeron a la red en D, y se colocaron en bandejas plásticas blancas, posteriormente fueron colocadas en bolsas ziploc con alcohol etílico al 95%, las bolsas iban previamente etiquetadas para evitar confusiones (Figuras No. 12 y No. 13).



Figura No. 11. Red en D (Trabajo de campo, 2015)



Figura No. 12. Colecta de macroinvertebrados (Trabajo de campo, 2015)



Figura No. 13. Fijación de muestras de macroinvertebrados, con alcohol etílico al 95%
(Trabajo de campo, 2015)

5.6.3 Identificación de macroinvertebrados acuáticos

La separación de muestras y la identificación de las mismas, se realizó con equipo óptico (lupa) con estereoscopio y pinzas metálicas para la manipulación de los organismos.

La identificación de los macroinvertebrados del río Pancochá se realizó al máximo nivel taxonómico posible, mediante la ayuda de las siguientes guías de identificación taxonómica:

- Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos de El Salvador (Springer, Serrano, y Zepeda, 2010).
- Guía de macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica (Springer, Ramírez, y Hanson, 2010).

Posteriormente los organismos se almacenaron y preservaron en viales de vidrio con alcohol etílico al 70% con su respectiva etiqueta de referencia la cual contiene la siguiente información: país, departamento, municipio, lugar de colecta, coordenadas geográficas, fecha de colecta y colector.

El material identificado fue depositado en el Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas del CEMA.

5.7 Análisis de la información

Para la correlación entre las variables fisicoquímicas y biológicas (familias de macroinvertebrados acuáticos), se utilizó un Análisis de Correspondencia Canónico (ACC) mediante el programa PcOrd 5.0, el cual es un método multivariado que permite dilucidar las relaciones entre los ensambles biológicos de las especies y su medio ambiente. El método está diseñado para extraer gradientes medioambientales de los parámetros ecológicos. Los gradientes son la base para describir y visualizar las preferencias de hábitat (nichos) de los taxa a través de un esquema de ordenación (Cajo, y Piet, 1995).

El uso del Análisis de Correspondencia Canónico (CCA) se recomienda cuando se tiene interés en la estructura de la comunidad de organismos y esta se encuentra relacionada a las variables medioambientales y cuando es un modelo unimodal donde las especies responden a las variables medioambientales.

Por principio se correlacionan tres grupos de variables: sitios, especies y factores ambientales. El CCA posiciona las especies, los sitios y los factores ambientales en un sistema de coordenadas de los gradientes principales. (McCune, y Grace, 2002).

Se utilizó estadística descriptiva (gráficos e histogramas) para representar los datos de diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Macroinvertebrados acuáticos

6.1.1 Diversidad

En el río Pancochá se clasificaron 14 familias correspondientes a 6 órdenes y 1 clase, (Cuadro No. 3). Se recolectaron 438 individuos de macroinvertebrados acuáticos, 209 en la época de verano (abril), 195 en la de transición (junio) y 34 en la lluviosa (septiembre).

Cuadro No. 3. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreo

Clase	Orden	Familias
Insecta	6	14

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

La parte alta de la microcuenca Pancochá presentó en la época seca 3 familias (Chironomidae, Muscidae y Baetidae), en la época de transición 1 familia (Chironomidae) y en la época lluviosa 2 (Chironomidae y Baetidae).

La parte media presento en época seca 6 familias (Chironomidae, Baetidae, Hydrophilidae, Hydropsychidae, Calopterygidae y Aeshnidae), en época de transición (Chironomidae) y época lluviosa (Chironomidae y Lampyridae).

La parte baja presento en época seca 8 familias (Chironomidae, Baetidae, Hydrophilidae, Belostomatidae, Crambidae, Perilestidae, Dytiscidae, Naucoridae y Veliidae), en época de transición 1 familia (Chironomidae) y en época lluviosa 2 familias (Chironomidae) (Cuadro No. 4).

Cuadro No. 4. No. De familias de macroinvertebrados acuáticos
en las diferentes épocas de muestreo del río Pancochá

Sitio	Seca	Transición	Lluviosa
Parte alta, río las Flores microcuenca Pancochá (RPA)	3	1	2
Parte media, Nacimiento (RPM)	6	1	2
Parte baja, reforestación Pansalic (RPB)	8	1	1

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

La familia Chironomidae se presentó en las tres épocas del año, tomando en cuenta que la diversidad de familias disminuye en época de transición esto podría deberse al aporte de contaminación por lluvias. Es importante mencionar que los residuos que genera la actividad agrícola disminuyen la diversidad de la zona aumentando la densidad de organismos tolerantes (Ej. Chironomidae) y desapareciendo los organismos sensibles a la contaminación (Springer, 2008).

La mayor diversidad de macroinvertebrados acuáticos se presentó en la época seca en la parte baja del río, seguida de la parte media, esto pudo deberse a que las condiciones ambientales son favorables para que los macroinvertebrados habiten en esas áreas, tomando en cuenta que esto se encuentra ligado específicamente a estas épocas del año en donde el disturbio por parte del incremento de caudal es menor (Arriola, 2013). La parte media presentó poca corriente en donde había presencia de agua estancada, abundantes rocas, sedimento, presencia de hojarasca y abundante vegetación, la parte baja presentó ausencia de corriente y poco caudal, abundantes rocas y ausencia de vegetación.

Es importante resaltar que el presente estudio es una línea base de la diversidad y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Pancochá y un primer listado taxonómico para dicho cuerpo de agua (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5. Listado taxonómico de macroinvertebrados acuáticos identificados por sitio de muestreo

Taxa	Parte alta	Parte media	Parte baja	Total
INSECTA				
Coleoptera				
Adephaga				
Dytiscidae	0	0	5	5
Poliphaga				
Hydrophilidae	0	20	0	20
Lampyridae	0	1	0	1
Diptera				
Nematocera				
Chironomidae	226	66	52	344
Brachycera				
Muscidae	43	0	0	43
Ephemeroptera				
Schistonota				
Baetidae	4	7	1	12
Hemiptera				
Gerromorpha				
Veliidae	0	0	1	1
Nepomorpha				
Belostomatidae	0	0	2	2
Naucoridae	0	0	1	1
Lepidoptera				
Crambidae	0	0	1	1
Odonata				
Anisoptera				
Aeshnidae	0	1	0	1
Zygoptera				
Calopterygidae	0	1	0	1
Perilestidae	0	0	4	4
Trichoptera				
Spicipalpia				
Hydropsychidae	0	1	1	2
Total	273	96	67	

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

6.1.2 Abundancia

En relación a la abundancia de macroinvertebrados acuáticos, se pudo observar una disminución en el número de organismos conforme se iba avanzando en la microcuenca, siendo la parte alta en donde se recolectó una mayor cantidad de macroinvertebrados y la parte baja la que presentó menor abundancia (Figura No. 14).

La mayor abundancia de organismos se obtuvo durante la época seca y de transición. Durante la época lluviosa se evidenció la disminución de organismos de la mayoría de las familias, esto podría ser debido al aumento de caudal en esta, ya que las corrientes ayudan a que los macroinvertebrados acuáticos sean arrastrados, por lo que hay una mayor adaptabilidad de ciertas especies a estas condiciones (Arriola, 2013).

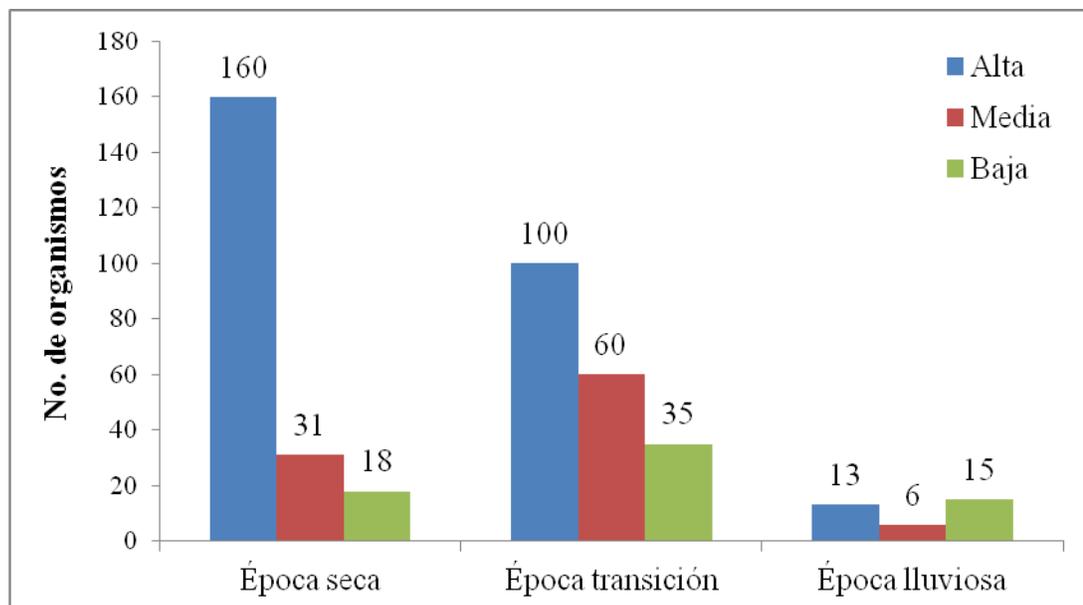


Figura No. 14. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos por sitio de muestreo en época seca, de transición y lluviosa (Trabajo de campo, 2015)

El aumento de macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la microcuenca Pancochá en época seca y de transición puede deberse a que el disturbio por el arrastre de la lluvia en los puntos de muestreo fue menor (Arriola, 2013). La familia con mayor representatividad en relación a la abundancia, fue Chironomidae, la cual habita aguas muy

contaminadas (Sandoval, Molina, McCafery, y Oliver, 2000). Lo que es posible explicar debido a que aún por localizarse en la parte alta de la microcuenca Pancochá lugar muy oxigenado, rico en nutrientes, con presencia de corriente, cobertura vegetal y vida acuática, hay presencia antropogénica a su alrededor, tomando en cuenta que toda actividad que se realice en esta parte perjudica directamente a la parte media y por consiguiente a la parte baja de la microcuenca.

Dentro de las familias recolectadas en la parte alta, la familia Chironomidae (Diptera) estuvo presente en todos los muestreos, mientras que Muscidae (Diptera) únicamente se presentó en época seca (Figura No. 15).

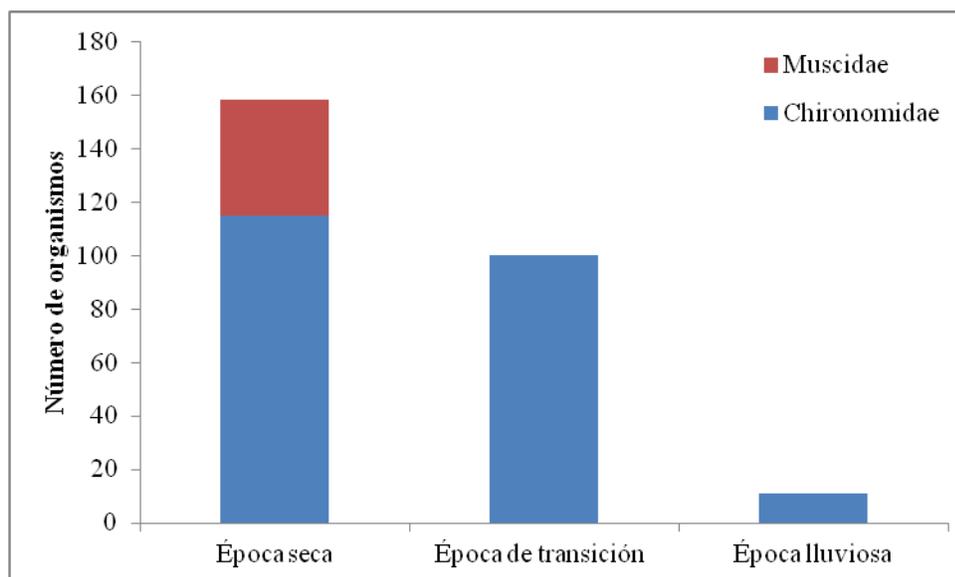


Figura No. 15. Abundancia de las dos familias principales de macroinvertebrados acuáticos en la parte alta del río Pancochá (Trabajo de campo, 2015).

La parte alta del río presenta problemas de contaminación y deterioro de la calidad del agua principalmente por cultivos agrícolas, proporcionando las condiciones para la proliferación de familias indicadoras de mala calidad del agua como Chironomidae y Muscidae.

La elevada abundancia del orden Diptera en época seca y de transición podría deberse a que las larvas presentan una gama de adaptaciones a la vida acuática, encontrándose así en casi

todos los tipos de cuerpos de agua. Además, estos grupos tienen una gran diversidad de especies y rangos de tolerancia (Williams, Jacobsen, Merritt, Springer, 2010).

La parte media presentó abundante hojarasca y materia orgánica, presencia de bosque, áreas rocosas, partes inundadas, poca presencia de luz solar, y presencia de lodo, se resalta también la presencia de vida acuática, todas estas condiciones fomentan el desarrollo de familias indicadoras de mediana calidad del agua como Hydropsychidae (Trichoptera) (McCafferty, 1998). La mayor abundancia la presentaron las familias Chironomidae, principalmente en época de transición e Hydropsychidae en época seca (Figura No. 16).

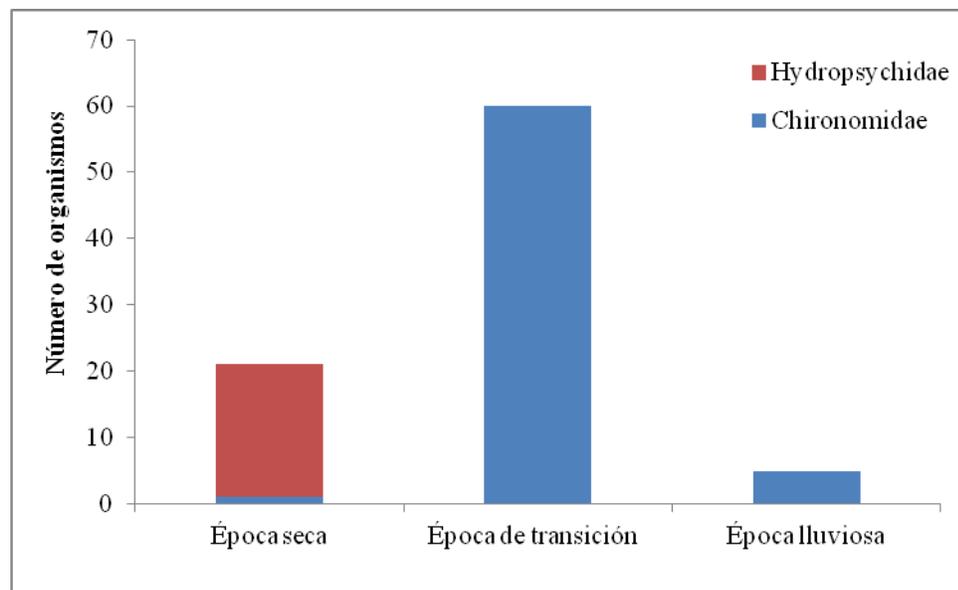


Figura No. 16. Abundancia de las dos familias principales de macroinvertebrados acuáticos en la parte media del río Pancochá (Trabajo de campo, 2015)

De igual manera que la parte media, la baja se vio dominada por la familia Chironomidae, aumentando el número de organismos en época de transición y lluviosa (Figura No. 17).

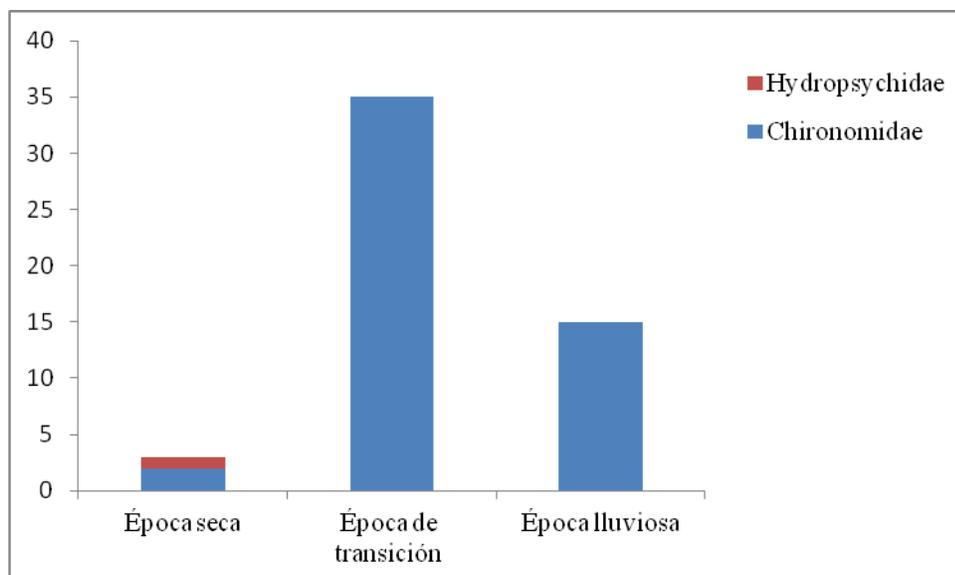


Figura No. 17. Abundancia de las dos familias principales de macroinvertebrados acuáticos en la parte baja del río Pancochá (Trabajo de campo, 2015).

La parte baja presentaba poca cobertura vegetal, ausencia de bosque y corrientes, presencia de luz solar, esta parte era utilizada como área recreativa por las comunidades aledañas.

La abundancia de los órdenes Trichoptera y Diptera se ve reflejada en las tres gráficas tanto en la parte alta, media y baja del río (Figura No. 15, 16 y 17). Lo que indica que la alteración de las condiciones ecológicas en los ríos puede ocasionar la pérdida de ciertas familias en un área y la consecuente colonización de ésta, por individuos de otras especies, afectando así la abundancia y distribución de la comunidad de macroinvertebrados en el río (Reyes, 2012). Al haber mayor disturbio del lecho del río, las comunidades de macroinvertebrados que toleran estas condiciones pueden adaptarse fácilmente (Arriola, 2013).

6.2 Parámetros fisicoquímicos

Las concentraciones óptimas de DBO_5 para un cuerpo de agua presentan valores no mayores a 6 mg/L (Custodio, 1984). Para nitratos las concentraciones óptimas no deben sobrepasar valores por encima de 1 mg/L (Klein, 1966). Los valores óptimos para fosfatos no deben ser mayores de 10 mg/L (Villamar, 2009).

Parámetros fisicoquímicos monitoreados pH, T°, NO₂, NO₃, DBO₅ y PO₄⁻³, realizados en el río Pancochá.

Cuadro No. 6 Parámetros fisicoquímicos de la parte alta, media y baja del río Pancochá

Época del año	T°C	pH	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DBO ₅	PO ₄ ⁻³
RPB1	24.5	7.96	-	-	-	-
RPM1	21	7.9	-	-	-	-
RPA1	22	7.31	-	-	-	-
RPB2	22.5	7.96	0.22	5.5	40	11.7
RPM2	20	7.9	0.19	5.9	5.6	1.8
RPA2	18	8	0.59	5.6	-	6.3
RPB3	22	7.9	0.22	5.5	-	0.5
RPM3	19	7.8	0.19	5.9	2.8	1.8
RPA3	18	7	0.59	5.6	-	1.9

Fuente: Trabajo de campo, 2015.

La parte media presentó valores de DBO₅ entre los 2.8 – 5.6mg/L, mientras que la parte baja alcanzó concentraciones de hasta 40mg/L durante la época de transición. La DBO₅ es un indicador de altas concentraciones de materia orgánica (Roldán, 2003). Altos niveles en la demanda bioquímica de oxígeno pueden implicar una disminución del oxígeno disuelto, el cual es requerido para la degradación biológica de la materia orgánica (Roldán, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008).

El pH es una variable importante en la distribución de los macroinvertebrados y la contaminación de los ecosistemas con residuos orgánicos o industriales, ya que rompen el equilibrio ecológico provocando cambios drásticos en el pH (Roldán, 2003). El pH más bajo es de 7 en la parte alta del río, seguido de un pH 8 en la parte alta. Los niveles de pH entonces se encuentran en rangos normales para un cuerpo de agua que resulta en una escala de 0 a 14 con neutralidad 7 (Juárez, y Martínez, 2010).

En cuanto a las formas del nitrógeno (nitritos y nitratos), los valores de nitritos más altos los presenta la parte alta del río con 0.59 mg/L, seguido de la parte media con 0.19 mg/L. Lo que quiere decir que la presencia de nitritos es un indicio de reciente contaminación orgánica, siendo tóxico para las formas de vida acuática (Roldán, 2003). Hay presencia de nitratos a lo largo del cauce del río, tanto en la parte alta, media y baja en época seca, de transición e invierno.

En cuanto al fósforo su abundancia es diez veces menor a la del nitrógeno (Roldán, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008). El valor más alto de ortofosfatos en el río fue de 11.7 mg/L en la parte baja, seguida de la parte alta con 6.3 mg/L.

Las elevadas concentraciones presentes de ortofosfatos a lo largo del río (parte alta, media y baja) en todas las épocas de muestreo pueden generar condiciones adversas para la mayoría de organismos, teniendo el mismo efecto que el nitrógeno (contaminación). El vertimiento de las aguas residuales domésticas y el uso de abonos en la agricultura son las fuentes principales de este componente (Roldán, 2003; Roldán, y Ramírez, 2008). La presencia de cultivos cercanos al río a unos metros de la parte alta, hace que afecte directamente a toda la microcuenca, principalmente en época lluviosa.

6.3 Análisis de correspondencia canónica (ACC)

Los primeros tres ejes del análisis de correspondencia canónico (ACC), explican un 76.8% de la varianza entre la relación de las variables fisicoquímicas del agua y las biológicas (macroinvertebrados acuáticos).

El primer eje está correlacionado con las variables de nitritos, nitratos, ortofosfatos, DBO_5 y pH. El test de permutaciones de Monte Carlo (500 permutaciones) mostró que el primer eje de ordenación no muestra diferencias significativas ($p > 0.05$), por lo que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos no se ve influenciada por las variables fisicoquímicas del agua. Es importante mencionar que dicha falta de significancia pudo deberse al número de muestreos realizados y a que no se cuenta con todos los valores de los parámetros fisicoquímicos a lo largo de los muestreos.

Las familias Muscidae, Chironomidae y Lampyridae se ven asociadas a lugares con altas concentraciones de nitritos, nitratos, fosfatos y DBO₅, se ven asociadas a la parte alta, media y baja de la microcuenca Pancochá en los muestreos realizados durante la investigación. Debido a su amplio rango de requerimientos ecológicos y biológicos, los coleópteros (Lampyridae) pueden indicar contaminación por detergentes (Brown, 1997).

El segundo eje está relacionado directamente a la parte baja de la microcuenca Pancochá y a las familias Naucoridae, Crambidae, Belostomatidae, Perilestidae, Veliidae, Hydrophilidae, Calopterygidae, Aeshnidae, Hydropsychidae, Hydrophilidae, Baetidae y Dytiscidae asociadas a sitios con las menores concentraciones de nutrientes y DBO₅ (Figura No. 18). Es decir que se ven directamente afectadas a la mala calidad del agua y a lugares muy contaminados, ya que no son tolerantes a altas concentraciones de estos parámetros.

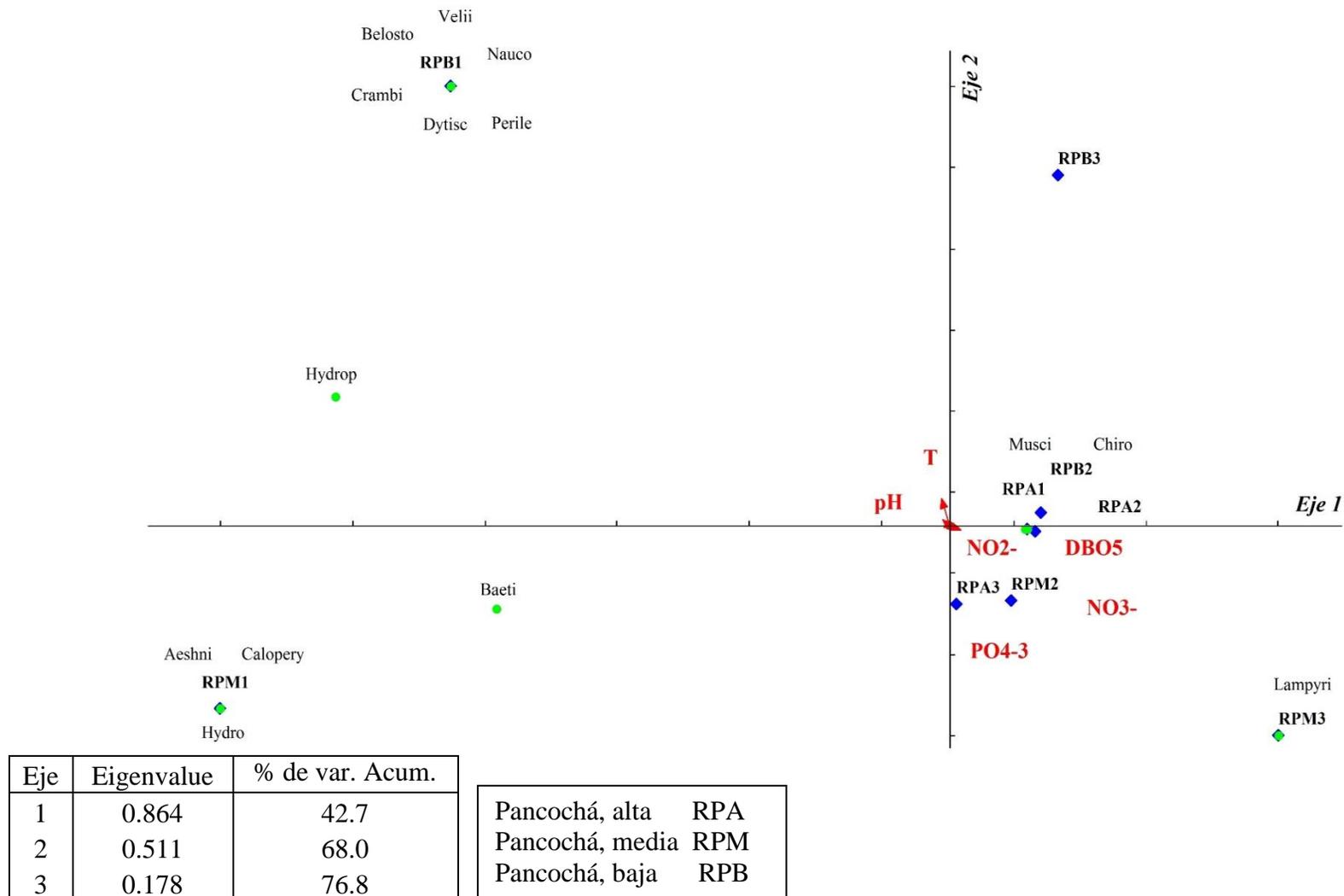


Figura No. 18. Ordenaci3n de los sitios de muestreo con relaci3n a los macroinvertebrados y las variables f3sico-qu3micas (Trabajo de campo, 2015)

El cuadro muestra las principales familias asociadas a la mediana calidad del agua las cuales no están asociadas a ningún parámetro fisicoquímico (Baetidae, Calopterygidae, Aeshnidae e Hydrophilidae). Las familias asociadas a la mala calidad del agua (Muscidae, Chironomidae y Lampyridae) se ven influenciadas directamente a altas concentraciones de nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), DBO_5 y ortofosfatos (PO_4^{3-}).

Cuadro No. 7 Familias de macroinvertebrados asociadas a la buena y mala calidad del agua según parámetros físico-químicos.

Mediana calidad del agua	Parámetro indicador	Mala calidad del agua	Parámetro indicador
Baetidae	No asociada a ningún parámetro	Muscidae	$\uparrow\text{NO}_2^-$, $\uparrow\text{NO}_3^-$, $\uparrow\text{DBO}_5$, $\uparrow\text{PO}_4^{3-}$
Calopterygidae	No asociada a ningún parámetro	Chironomidae	$\uparrow\text{NO}_2^-$, $\uparrow\text{NO}_3^-$, $\uparrow\text{DBO}_5$, $\uparrow\text{PO}_4^{3-}$
Aeshnidae	No asociada a ningún parámetro	Lampyridae	$\uparrow\text{NO}_2^-$, $\uparrow\text{NO}_3^-$, $\uparrow\text{DBO}_5$, $\uparrow\text{PO}_4^{3-}$
Hydrophilidae	No asociada a ningún parámetro	Hidropsychidae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$
		Dysticidae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$
		Crambidae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$
		Perilestidae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$
		Belostomatidae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$
		Veliidae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$
		Naucoridae	$\uparrow\text{T}^\circ\text{C}$, $\uparrow\text{pH}$

Fuente: Trabajo de campo, 2015

Notablemente ninguna especie de Ephemeroptera (Baetidae) puede sobrevivir niveles altos de contaminación (Barber, Gattoliat, Sartori, y Hubbard, 2008). La familia Aeshnidae es sensible a la contaminación y se cree que es buen indicador de la recuperación de los cuerpos de agua (D' Amico, et al., 2004).

7. CONCLUSIONES

1. Según los resultados la calidad del agua del río Pancochá se puede considera como “mala calidad”, debido a la abundancia de macroinvertebrados asociados a disturbios en parámetros como nitritos, nitratos, demanda bioquímica de oxígeno y fosfatos.
2. El valor más alto de DBO_5 fue de 40mg/L en época de transición, el del pH se mantuvo neutro con valores entre 7 y 8; y el contenido de ortofosfatos presentes en el río con el valor más representativo de 11.8 mg/L.
3. Se registró un total de 14 familias, 8 órdenes y 1 clase de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca del río Pancochá, Mixco, Guatemala, en donde se recolectaron 438 individuos de macroinvertebrados, 209 en la época seca (abril), 195 en transición (junio) y 34 en la época lluviosa (septiembre). Los sitios que presentaron mayor abundancia de macroinvertebrados acuáticos fueron la parte alta y media de la microcuenca Pancochá, durante la época seca y de transición respectivamente.
4. Las familias asociadas a la mala calidad del agua en el río Pancochá fueron Muscidae, Chironomidae, Lampyridae, Veliidae, Hydropsychidae, Crambidae, Naucoridae, Perilestidae, Dytiscidae y Belostomatidae. Las familias asociadas a la buena calidad del agua en el río Pancochá fueron Baetidae, Calopterygidae, Aeshnidae e Hydrophilidae.
5. Durante la época lluviosa se evidenció la disminución de organismos de la mayoría de las familias, obteniendo 15 organismos para la cuenca baja y 13 organismos para la cuenca alta.
6. La familia que presentó mayor abundancia fue Chironomidae, en todos los sitios de muestreo (parte alta, media y baja).

8. RECOMENDACIONES

1. Ampliar por parte del estudiante el número de sitios y frecuencia de muestreos para determinar la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos a largo plazo.
2. Establecer un programa de monitoreo de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos por parte del CONAP, con el objetivo de generar datos de los componentes biológicos del río Pancochá y los cambios que puedan presentarse en las comunidades como resultado del proceso del deterioro de la calidad del agua por las actividades antropogénicas realizadas dentro de la microcuenca.
3. Elaborar diagnósticos de buenas prácticas en áreas utilizadas para turismo o recreación en áreas del Río Pancochá.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Arriola, I. (2013). *Calidad de agua en los ríos Tzalá y Tzununá, cuenca del lago de Atitlán*. Tesis Lic. Acuicultura. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
2. Barber, J., Gattoliat, J., Sartori, M., y Hubbard, M. (2008). Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 339-350.
3. Brown, A. (1997). *Coleópteros como indicadores de la calidad del agua*. Colombia: SENDRU.
4. Cajo, J. F., y Piet, F.M. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57 (3), 255-289.
5. Castillo, N. (2008). *Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman las microcuencas del río Villalobos, principal tributario del lago de Amatitlán, durante los años de 1996 a 2006*. Guatemala: USAC.
6. Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP]. (2008). *Revisión y análisis del plan maestro de la reserva forestal protectora de manantiales cordillera Alux*. Guatemala: DENDRUM.
7. Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP]. (2014). *Plan Maestro Reserva Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux*. Guatemala: Autor.
8. Custodio, E. (1984). *Calidad del agua subterránea*. Barcelona: Omega.
9. Dombeck, M. (2007). *Importancia de una cuenca hidrográfica*. Estados Unidos: Autor.
10. D'Amico, F., Darblade, S., Avignon, S., Blanc-Manel, S., y Ormerod, S. J. (2004). *Familia Aeshnidae como indicadora de la calidad del agua*. México: ANDROP.
11. Fajardo, N. (2011). *Caracterización del recurso hídrico superficial y lineamientos de manejo de las microcuencas de los ríos Pansalic y Pancochá, Mixco, Guatemala y servicios prestados al Minsiterio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN].



12. Jiménez, F. 2005. Gestión integral de cuencas hidrográficas: Enfoques y estrategias actuales. *CATIE Recursos, Ciencia y Decisión*, (2), 11-22.
13. Juárez, A. R., y Martínez, P. P. (2010). *Fundamentos de control de la calidad del agua*. México: Noriega Editores.
14. Klein, A. (1966). *Calidad del agua y control de la polución*. Santo Domingo: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial [C.D.I.A.T].
15. León, F. (2010). *Bosque húmedo montano bajo subtropical* [en línea]. Recuperado mayo 10, 2015, de <http://www.leopl.com/ciencias-naturales/1270/bosque-humedo-montano-bajo-subtropical>.
16. Mccune, B., y Grace, J. B. (2002). Analysis of ecological communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 289 (2), 22-33.
17. Manzo, D. (2008). *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pinula, jurisdicción de Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Guatemala: USAC.
18. Ortiz, J. (2015). *Macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral y sublitoral del algo de Atitlán, Sololá, durante el año 2015*. Tesis Licenciado Acuicultura. Guatemala: USAC.
19. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales [PROSAP]. (2005). *Manual de calidad del Agua*. México: Autor.
20. Reyes, F. (2012). *Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua*. Tesis Licenciada Química. Guatemala: USAC.
21. Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. [2ª ed.]. Colombia: Editorial Universitaria de Antioquía.
22. Roldán, G. (2003). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia: Editorial Universitaria de Antioquía.
23. Sandoval, C., Molina, D., McCafery, C., y Oliver, H. (2000). *Familia Chironomidae como indicador de calidad de agua*. México: Sagastume Editores.



24. Springer, M., Ramírez, A., y Paul, Hanson. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Supl. 4), 200.
25. Springer, M., Serrano, L., y Zepeda, A. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera. En *Sermeño Chicas, J. M. (ed.). (2010). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos: Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA)*. El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
26. Sermeño, J., Pérez, D., Muños, S., Serrano, L., Rivas, A. y Monterrosa U. (2010). *Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador: Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA)*. El Salvador: Editorial Universitaria [UES].
27. Videz, F. (2010). *Cuenca hidrográfica* [en línea]. Recuperado noviembre 10, 2015, de http://www.ecured.cu/Cuenca_hidrogr%C3%A1fica
28. Villamar, J. (2009). *Fosfatos totales*. México: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
29. Williams, F., Jacobsen, C., Merritt, A., y Springer, J. (2010). *Orden Diptera como indicadores de la calidad del agua*. (s.n.t.).
30. Zelada, J. (2012). *Análisis, composición y abundancia de macroinvertebrados en los ríos Pumpumay, Pansalic-Panchiguaja: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Amatitlán -AMSA-*. Guatemala: USAC.



10. ANEXO



(Orden: Diptera, Familia: Chironomidae)



(Orden: Diptera, Familia: Muscidae)



(Orden: Ephemeroptera, Familia: Baetidae)



(Orden: Odonata, Familia: Aeshnidae)



(Orden: Trichoptera, Familia: Hydropsychidae)

Anexo No. 1. Macroinvertebrados encontrados en el río Pancochá (Trabajo de campo, 2015)