

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza de
macroinvertebrados en dos ríos de Sololá, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Ana Gabriela Dávila Recinos

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

Guatemala, mayo de 2018

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza de
macroinvertebrados en dos ríos de Sololá, Guatemala**

Presentado por:

T. A. Ana Gabriela Dávila Recinos

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

Asesor: Lic. José Roberto Ortíz

Guatemala, mayo de 2018

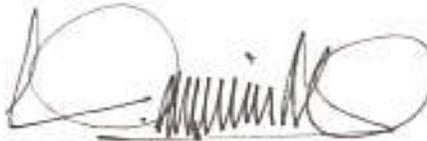
**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

Consejo Directivo

Presidente	M. Sc. Héctor Leonel Carrillo Ovalle
Secretaria	M. Sc. Kathya Iturbide Dormon
Representantes Docentes	M. A. Olga Marina Sánchez Cardona M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón
Representante del Colegio de Médicos Veterinarios, Zootecnistas y Acuicultores	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representantes Estudiantiles	T.A. María Alejandra Paz Velásquez T.A. Marcos Estuardo Ponciano Núñez

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 **Ana Gabriela Dávila Recinos**, titulado “Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados en ríos de Sololá, 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 Ortiz, al trabajo de graduación de la estudiante universitaria **Ana Gabriela Dávila Recinos**, titulado “Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados en dos ríos de Sololá, Guatemala”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Luis Francisco Franco Cabre



Guatemala, mayo 2018

Agradecimientos

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser ese pilar del saber que me brindó las herramientas necesarias para mi vida profesional. Siempre estaré orgullosa de ser San Carlista.

Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, por ser mi casa de estudios, otro lugar al que le tengo mucho respeto y cariño, agradezco también a todas las personas que realizan su trabajo en pro del estudiante.

A la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno [AMSCLAE], por la oportunidad de realizar mis proyecto de investigación, por todo el apoyo brindado en cuanto a recursos materiales y humano.

Al Departamento de Investigación y Calidad Ambiental [DICA], por todo, desde su apoyo en mis actividades de investigación, hasta por hacer de mi estadía algo muy enriquecedor y agradable, me llevo muy buenas experiencias y amistades que estarán siempre en mi mente y corazón. Sigán siendo siempre ese excelente equipo, espero que el valioso recurso humano que posee esta institución sea reconocido.

A Cristian Kraker Castañeda, Becky Martínez, Federico Nave y Jareth Román, gracias por la ayuda desinteresada brindada en esta investigación, Dios les bendiga.

Dedicatoria

Al Creador, por todas las maravillas naturales que brinda al ser humano, por todas las bendiciones en cuanto a familia y amigos, por darme la capacidad de realizar cosas que tal vez no son grandes, pero que aportan un poco al conocimiento y entendimiento de la complejidad de los recursos naturales.

A mis padres, Rogelio de Jesús Dávila Ibañez y María Delfina Recinos Navas, por todo el esfuerzo en pro de mi bienestar y el de mis hermanos, son seres magníficos que el Creador me ha regalado, gracias por todo su apoyo, su confianza, su amor incondicional, por aguantar esas locuras que uno como joven tiene, por estar ahí siempre y formar parte de todo este proceso, sin ustedes no hubiera podido alcanzar mis metas, este logro es suyo.

A todas las instituciones y personas que velan (en pensamientos, palabras y acciones) por el conocimiento, divulgación, sensibilización y protección a la naturaleza.

A quienes me apoyaron desde el inicio, Inga. Leonor Barahona, M. Sc. Norma Gil, las quiero mucho. Gracias por ver lo valioso cuando yo aún no lo veía, gracias por todo su apoyo y consejos.

A mi asesor, José Roberto Ortiz Aldana, por ser más que mi profesor y asesor, un amigo confiable que me ha apoyado en muchas maneras. Gracias por todas las oportunidades brindadas, por guiarme y de alguna manera mantenerme centrada, aunque eso haya ocasionado ciertas diferencias en algún momento, es algo que necesito. Gracias por aguantarme, sos un ser especial en muchos sentidos de la palabra.

A Fátima Reyes, por permitirme profundizar en el conocimiento de macroinvertebrados acuáticos, disfruté mucho el aprender tanto de ti, espero poder retribuir algún día todas esas buenas acciones y atenciones que has tenido hacia mí, eres una asesora más de este trabajo.

A mis profesores y personal del CEMA, ya que de cada uno de ellos he aprendido lecciones importantes.

Al equipo DICA-AMSCLAE: a mi colega Isabel Arriola, por su apoyo y todos esos días de siembras de tul, de nado, de correr, de canto, anécdotas y risas, por todos esos abrazos y atenciones brindadas. A Cristina Martínez, por ser ese factor de locura en mi vida, también por compartir todas las anécdotas, risas, locuras, consejos, abrazos, y porque no, hasta lágrimas, sos un ser especial. A Flor Barreno, por sus sabios consejos, por compartir libros, anécdotas y risas en el laboratorio, espero haber llenado de música tus días tranquilos de trabajo, sos una persona demasiado linda y atenta. A Domingo Ujpán, por su apoyo en cuanto a trabajo, por su participación en algunas locuras y por ser siempre esa persona auténtica, bromista y alegre, sos un patojo muy capaz y mantené siempre la meta de llegar cada vez más lejos. A Natanael Xaminez, por todo su apoyo, su cariño y comprensión, sobre todo cuando la locura bordeaba en mí, por todos esos abrazos, de esos en los que el cariño se siente, sos un patojo muy especial, seguí siendo ese excelente ser humano. Los quiero a todos, sigan siendo ese equipo honorable y ejemplar.

Resumen

Los macroinvertebrados representan importancia ecológica en sistemas lóticos, los cuales se componen de microhábitats que pueden influenciar la riqueza y abundancia de macroinvertebrados. Se evaluó el efecto de los microhábitats y las variables ambientales sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados, los que a su vez son influenciados por la calidad del hábitat. Para esto, se aplicó el protocolo de evaluación rápida (RBP) a los ríos La Labor y Tzununá, ubicados en la cuenca del lago Atitlán, Sololá. Se tomaron 65 muestras correspondientes a ocho microhábitats para determinar la abundancia, riqueza por rarefacción, diversidad por el número efectivo de especies, así como índices ecológicos de dominancia y equidad de Pielou (J). Por último, se aplicó un modelo lineal general para definir qué variables tienen efecto sobre la abundancia y riqueza taxonómica.

Se encontró que la calidad de hábitat fue buena en ambos ríos. Se colectaron 19,529 organismos correspondientes a 91 taxa, 49 familias y 65 géneros. El microhábitat que presentó mayor abundancia fue hojarasca (7,723 organismos), piedras presentó la mayor riqueza (41 taxa) y vegetación presentó la mayor diversidad (${}^1D=14.40$). Pozas presentó la menor abundancia (652 individuos) y musgo tuvo la menor riqueza (28 taxa). Los microhábitats con mayor dominancia fueron roca ($D=0.28$) y catarata ($D=0.23$), mientras que la mayor equidad se presentó en pozas ($J=0.71$), vegetación ($J=0.69$) y grava ($J=0.68$). Se demostró que el microhábitat si tuvo un efecto sobre la abundancia y la riqueza ($p<0.05$), ésta última también se vio influenciada por la profundidad ($p=0.030$).

La calidad del hábitat, principalmente elementos de heterogeneidad, alteración del cauce y ocurrencia frecuente de rápidos definen la diversidad y complejidad de microhábitats disponibles, los cuales proveen refugio y alimento que satisfacen los requerimientos de los organismos promoviendo la abundancia y riqueza de macroinvertebrados en sistemas lóticos.

Abstract

Atitlán basin is a protected area, which purpose is to promote the conservation of the natural resources, including the biological diversity of the rivers, however there is a threat because of the habitat alteration. The effect of the microhabitats and the environmental variables over the abundance and richness of macroinvertebrates was evaluated, taking into count that these organisms are also influenced by the microhabitat. For this, a rapid bioassessment protocol (RBP) was applied to Tzununá and La Labor rivers located in lake Atitlan basin in Sololá. 65 samples with 8 microhabitats were taken to determine the abundance, richness by rarefaction, diversity by the effective number of species, as well as ecological dominance and equity index by Pielou (J). Last, a general lineal model was applied to define the variables that have an effect on the taxonomic abundance and richness.

The quality of habitats were the same for both rivers. 19,529 organisms were collected from 91 taxa, 49 families and 65 genera. The microhabitat with high abundance was leaves (7,723 organisms), rocks had the highest richness (41 taxa) and vegetation had the highest diversity (1D=14.40). Shallow pools had the lowest abundance (652 organisms) and Musk had the lowest richness (28 taxa). The microhabitats with highest dominance were rock (D= 0.28) and waterfall (D= 0.23), while the highest equity was found in shallow pools (J=0.71), vegetation (J=0.69) and gravel (J=0.68). The microhabitat does have an effect over abundance and richness ($p < 0.05$), the last one is also influenced by depth ($p = 0.030$).

The quality of the habitats, mainly heterogeneity of elements, define the diversity and complexity of available microhabitats, which provide food and shelter that satisfy the organisms requirements promoting the abundance and richness of macroinvertebrates in lotic systems.

Índice de Contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Marco Teórico	4
3.1 Sistemas lóticos	4
3.2 Macroinvertebrados acuáticos	5
3.3 Macroinvertebrados y hábitats fluviales	7
3.4 Índice de calidad de hábitat	9
3.4.1 Protocolo de Evaluación Biológica Rápida (RBP)	9
4. Objetivos	10
4.1 Objetivo general	10
4.2 Objetivos específicos	10
5. Materiales y Métodos	11
5.1 Ubicación geográfica	11
5.2 Variables	12
5.3 Selección de la muestra	12
5.4 Descripción de los sitios de muestreo	13
5.4.1 Hojarasca	13
5.4.2 Grava o cascajo	14
5.4.3 Piedras o guijarro	14
5.4.4 Roca o peña	15
5.4.5 Musgo	15
5.4.6 Vegetación acuática	16
5.4.7 Pozas	16
5.4.8 Cataratas	17
5.5 Procedimiento	17
5.5.1 Colecta de macroinvertebrados bentónicos por microhábitat	17
5.5.2 Limpieza y separación de macroinvertebrados en laboratorio	19
5.5.3 Variables ambientales	20
5.6 Análisis de la información	20

6. Resultados y Discusión	22
6.1 Descripción del hábitat de los ríos La Labor y Tzununá	22
6.2 Composición de la comunidad de macroinvertebrados	24
6.2.1 Abundancia	29
6.3 Diversidad de macroinvertebrados por microhábitat	32
6.4 Relación entre abundancia de macroinvertebrados con microhábitats y variables ambientales	34
6.5 Relación entre riqueza de macroinvertebrados con microhábitats y variables ambientales	34
7. Conclusiones	37
8. Recomendaciones	38
9. Bibliografía	39
10. Anexo	45

Índice de Figuras

Figura 1 Organismos representativos de ecosistemas fluviales	8
Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo	11
Figura 3. Microhábitat hojarasca	13
Figura 4. Microhábitat grava o cascajo	14
Figura 5. Microhábitat piedras o guijarro	14
Figura 6. Microhábitat roca o peña	15
Figura 7. Microhábitat musgo	15
Figura 8. Microhábitat vegetación acuática	16
Figura 9. Microhábitat pozas	16
Figura 10. Microhábitat catarata	17
Figura 11. Colecta de macroinvertebrados en los ríos La Labor y Tzununá	17
Figura 12. Separación y almacenamiento de macroinvertebrados	19
Figura 13. Identificación de macroinvertebrados	19
Figura 14. Box plot de velocidad de corriente por microhábitat	23
Figura 15. Box plot de profundidad en los microhábitats evaluados	24
Figura 16. Abundancia total por microhábitat	29
Figura 17. Abundancia relativa de órdenes representativos de la clase Insecta.	30
Figura 18. Abundancia relativa de órdenes menos abundantes de la clase Insecta	31
Figura 19. Abundancia relativa de taxas menores	32
Figura 20. Curva de rarefacción para una muestra estándar de 641 individuos	33

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de materiales que conforman los tipos de sustrato en ríos	5
Tabla 2. Variables e indicadores a evaluar en cada punto de muestreo	12
Tabla 3. Método de muestreo por microhábitat en los ríos La Labor y Tzununá	18
Tabla 4. Abundancia de orden/familia/género por los microhábitats evaluados	25
Tabla 5. Diversidad e índices ecológicos por microhábitat	34

1. Introducción

Los macroinvertebrados son organismos que durante algún momento de su ciclo vital forman parte de los hábitats acuáticos, suelen ser dominantes dentro de la fauna de los sistemas lóticos. Su diversidad y abundancia depende en gran parte de la calidad del agua, así como de la variedad de sustratos presentes en el río (Reyes, 2012).

Los diversos sustratos que se encuentran en el lecho de un río funcionan como microhábitats, éstos brindan refugio y resguardan a los organismos de condiciones naturales como la velocidad de corriente y arrastre de materiales, las cuales pueden provocar daños en las estructuras biológicas de los macroinvertebrados (Roldán, y Ramírez, 2008). Debido a las adaptaciones morfológicas, los organismos pueden colonizar microhábitats específicos, sin embargo, se conoce poco del efecto que tienen estos sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados acuáticos.

La importancia de los macroinvertebrados bentónicos radica en que permiten entender la estructura y funcionamiento de la ecología de ríos, ya que los organismos deben adaptarse a las características que este ecosistema ofrece (Sepulcre, 2012). Estos organismos suelen ser buenos indicadores principalmente por sus patrones limitados de migración, la sensibilidad de algunos estadíos a variaciones ambientales y sus reacciones ante el stress, lo que les permite ser especialmente adecuados para la evaluación de impactos en ecosistemas acuáticos (Barbour, Gerritsen, Snyder, y Stribling, 1999).

En el siguiente trabajo se evaluó la calidad del hábitat de los ríos La Labor y Tzununá dentro de la cuenca del lago Atitlán. También se describió la riqueza, abundancia y diversidad de macroinvertebrados por microhábitat. Por último, se determinó el efecto que tienen los microhábitats y variables ambientales (profundidad y velocidad) sobre la riqueza y abundancia de macroinvertebrados.

2. Antecedentes

Las investigaciones realizadas respecto a la abundancia y riqueza de macroinvertebrados por microhábitat en sistemas lóticos se han delimitado a evaluar únicamente las áreas de rápidos y aguas someras o deposicionales (Scullion, Parish, Morgan, y Edwards, 1982; Logan, y Brooker, 1983; Brown, y Brussock, 1991), también se ha estudiado la estructura de ciertos ordenes bioindicadores (EPT) en esas áreas (Crisci, Bispo, y Froehlich, 2007).

Otros trabajos de investigación se han realizado a mayor escala, describiendo los cambios en cuanto a gradientes altitudinales, por lo que han descrito la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en los microhábitats encontrados a distintas altitudes y hábitats (Rivera, 2004; Roy, y Homechaudhuri, 2017). Otros únicamente han determinado la biodiversidad como indicador de heterogeneidad de microhábitats y calidad de agua (Maneechan, y Prommi, 2015).

Estudios sobre el impacto de la vegetación ribereña han permitido indagar en algunos hábitats específicos, tales como hojarasca, vegetación acuática, guijarros y sedimento fino (Davies y Nelson, 1994; Coggerino, Cellot, y Bournaud, 1995; Arcos, 2005; Meza, Rubio, Días, y Walteros, 2012; Manrique, y Gómez, 2017), una investigación acerca de la descomposición de hojarasca ha brindado información de riqueza, abundancia e incluso función trófica de los organismos pertenecientes a ese microhábitat (Eyes, Rodríguez y Gutiérrez, 2012).

En Chile se realizó una investigación donde se tomó en cuenta la variación altitudinal, también se estudiaron varios hábitats a distintas velocidades de corriente, en base a lo encontrado, se recomendó llevar a los organismos a nivel de género para asociarlos apropiadamente a un microhábitat específico, también recomendó estudiar más a fondo el tema para ampliar la información en la región (Orth, 2009).

En Guatemala se estudió la ecorregión Lachuá, donde se quiso determinar qué variables físicoquímicas afectaban la distribución de macroinvertebrados a nivel de microhábitat en los ríos Peyán, Lachuá y Tzetoc. Se encontró que la velocidad de corriente y pH determinaron la distribución en una misma sección de río (García, y Méndez, 2010).

La información disponible en la cuenca del lago Atitlán de diversidad y abundancia de macroinvertebrados por microhábitat es nula. Se cuenta con información acerca de la abundancia y diversidad de macroinvertebrados en los afluentes del lago Atitlán (ríos Barreneché, Agua Tibia, San Francisco, Tzalá, Tzununá, Cojolyá y La Catarata) en febrero, junio y octubre, se recolectaron 2,609 organismos donde el sitio con mayor abundancia fue el río Tzununá y los de mayor diversidad el río Tzununá y Panasacar. Se determinó que estos atributos pueden estar asociados a que hay mayor heterogeneidad de microhábitats y un bajo impacto antropogénico (Departamento de Investigación y Calidad Ambiental [DICA], 2016).

3. Marco Teórico

3.1 Sistemas lóticos

Dentro de los sistemas lóticos o de aguas corrientes se encuentran los ríos, riachuelos, arroyos y quebradas, estos ecosistemas se asocian a lugares de erosión, transporte y sedimentación de materiales (Roldán, y Ramírez, 2008). Los ríos pueden distinguirse entre permanentes e intermitentes, estos últimos son los que se secan parcial o totalmente en alguna estación del año. Existen zonas en los ríos donde la corriente deposita las partículas (deposicionales) y zonas donde la corriente se lleva las partículas (erosionales) (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

En los ríos, el material de origen geológico es transportado y depositado por la corriente, lo que determina el sustrato inorgánico de un río, elementos como madera, originario de la franja ribereña son transportados, depositados y posiblemente enterrados parcialmente, constituyen el principal sustrato orgánico (Colbert, y Allan, 2001). Los sustratos inorgánicos están clasificados respecto a su tamaño y sus nombres pueden variar por región (Tabla 1).

Un aspecto dentro de la dinámica fluvial es la velocidad de la corriente que por lo general se mide en metros por segundo (m/s), ésta puede verse afectada por materiales disueltos y suspendidos en el agua, por la naturaleza del sustrato y la vegetación. Los fondos rocosos e irregulares son los sustratos que proporcionan movimiento más rápido del agua debido a la poca resistencia del cauce (Roldán, y Ramírez, 2008), el flujo de agua permite el transporte de oxígeno a los organismos, el cual puede ayudar a su respiración, aunque muchos ocupan cierto rango de velocidad de corriente, ya que en valores extremos pueden verse estresados (Colbert, y Allan, 2001).

Tabla 1. *Clasificación de materiales que conforman los tipos de sustrato en ríos*

Nombre del material	Tamaño (mm)
Roca o peña	>256
Guijarro	64-256
Piedras	16-64
Cascajo	8-16
Arena muy gruesa	1-2
Arena gruesa	0.5-1
Arena mediana	0.25-0.5
Arena fina	0.125-0.25
Arena muy fina	0.0625-0.125
Aluvión	0.0039-0.0625
Arcilla	<0.0039

Fuente: Roldán, y Ramírez, 2008.

3.2 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados son organismos invertebrados que pueden retenerse con una luz de malla de 125 μm y que pueden verse a simple vista (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Los macroinvertebrados se clasifican de la siguiente manera:

- Clase Insecta: Orden Ephemeroptera

Las ninfas de Ephemeroptera se encuentran en aguas corrientes y estancadas, se encuentran básicamente en todos los microhábitats (Fernández, y Domínguez, 2001). Existen especies nadadores (Baetidae, Isonychiidae y algunos Leptophlebiidae), agarradores (Heptageniidae), reptadores y excavadores como Ephemeridae y Polycitarcyidae que construyen túneles en forma de U en sedimentos blandos (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Trichoptera

Los tricópteros se caracterizan por la fabricación de gran diversidad de estuches y refugios, esto les permite ventajas como camuflaje, protección contra arrastre de corriente, facilita la alimentación y ayuda en la respiración. Su alimentación se basa en filtrar, coleccionar, fragmentar, depredar y carroñar (Springer, Serrano, y Zepeda, 2010). Existen organismos agarradores que poseen

ganchos en la punta del abdomen, otros que por medio de seda se fijan a las rocas para evitar ser arrastrados por la corriente, también existen organismos reptadores (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Coleoptera

Existen organismos buceadores (Dytiscidae e Hydrophilidae) que obtienen oxígeno de la superficie del agua, bucean y nadan para alimentarse, también pasan tiempo agarrándose de objetos sumergidos. También existen organismos agarradores, por lo que se encuentran en corriente fuerte (Psephenidae), otros que poseen uñas largas y fuertes (Elmidae y Dryopidae) (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). La alimentación varía entre familias y estadio, ya que existen algunos depredadores, herbívoros raspadores, carroñeros y otros que prefieren materia orgánica en descomposición (Gutiérrez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Diptera

Los dípteros en estadios inmaduros colonizan todos los hábitats acuáticos continentales, en ambientes lóticos se encuentran en aguas lentas y rápidas y cavidades de plantas, poseen hábitos alimenticios de todo tipo (Menjívar, 2010). Estos organismos poseen diversos mecanismos adaptativos ya que existen organismos agarradores que poseen una combinación de ganchos y sedas en la punta del abdomen (Simuliidae), otras larvas poseen ventosas en la parte ventral para fijarse en rocas (Blephariceridae y Psychodidae), otras poseen seda que se fija a rocas en zona de corriente (Chironomidae), mientras que otras son excavadoras que se entierran en el sustrato (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Lepidoptera

Existen larvas que producen seda para construir refugios que se fijan al sustrato en zonas de corriente (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Algunas larvas nadan en la superficie o por debajo de ella, también usan las plantas como hábitat. La mayoría de las especies son fitófagas, alimentándose de tallos, raíces y hojas, otras raspan perifiton (Serrano, y Zepeda, 2010).

- Clase Insecta: Orden Odonata

Algunos organismos son reptadores (Libellulidae), otros trepadores que viven en la parte sumergida de plantas acuáticas donde hay ninfas que son depredadores y otros como Gomphidae son excavadores que se entierran en sustratos suaves (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Las náyades habitan en diversos ambientes dentro de las cuales se encuentra el lecho de ríos y quebradas (Sermeño, Pérez, y Gutiérrez, 2010).

- Clase Insecta: Orden Hemiptera

Suelen ser trepadores depredadores (Belostomatidae) (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Estos organismos viven sobre la superficie del agua, en piedras, hojarasca o en las orillas de sistemas lénticos y lóticos (Pacheco, 2010).

- Clase Insecta: Orden Plecoptera

Hay ciertos organismos que son reptadores, por lo que viven en microhábitats con menor corriente, por lo que se arrastran en la superficie de sustratos como roca, sedimentos, hojarasca o madera (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Son importantes desmenuzadores de hojas, también pueden ser fitófagas o carnívoras (Gutiérrez, Sermeño y Chávez, 2010).

- Clase Annelida: Subclase Oligochaeta

Son lombrices de agua y son indicadores de máxima contaminación acuática (Sermeño, et al., 2010).

- Clase Annelida: Subclase Hirudinea

Son sanguijuelas y son indicadores de aguas contaminadas de materia orgánica, sus poblaciones son típicas de aguas con reciente contaminación o en vías de recuperación (Sermeño, et al., 2010). Estos organismos suelen habitar en aguas quietas como charcas, orillas de ríos de poco movimiento, adheridas a troncos y todo tipo de sustrato (Roldán, y Ramírez, 2008).

- Clase Turbellaria: Orden Tricladida

Este es el grupo perteneciente a las planarias, viven en aguas de poca corriente o estancadas, viven adheridos a piedras y troncos (Sermeño, et al., 2010).

3.3 Macroinvertebrados y hábitats fluviales

Los organismos que viven en aguas con corriente se les llama reofílicos (Figura 1) (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Los macroinvertebrados constituyen el grupo dominante en los ríos, algunos organismos representantes son diversas familias de moluscos y larvas de insectos, aunque también puede haber crustáceos, oligoquetos, anélidos, nematodos e hirudíneos, dependiendo del tipo de río (Universidad Nacional Mayor de San Marcos y Museo de Historia Natural, 2014).

Los hábitats dentro de los ríos pueden variar en cuanto a corriente y granulometría del sustrato, por lo que el lecho de un río se conforma de varios microhábitats que pueden ir desde rocas o

peñas hasta arena fina y arcilla, es importante determinar el microhábitat para saber qué tipo de fauna se establece en esos lugares específicos (Roldán, y Ramírez, 2008).

Generalmente los ríos de aguas limpias y bien oxigenadas contienen la mayor diversidad de macroinvertebrados (Hanson, Springer, y Ramírez, 2010). Los lechos rocosos son claro ejemplo, ya que generalmente estos lugares acumulan residuos vegetales que son usados como refugio por variedad de especies, mientras que en lugares arenosos y arcillosos con corriente baja son microhábitats pobres en cuanto a diversidad debido a que el sustrato es inapropiado para establecerse, organismos como oligoquetos, moluscos y quironómidos predominan en estos hábitats por su adaptación a bajas de oxígeno (Roldán, y Ramírez, 2008).

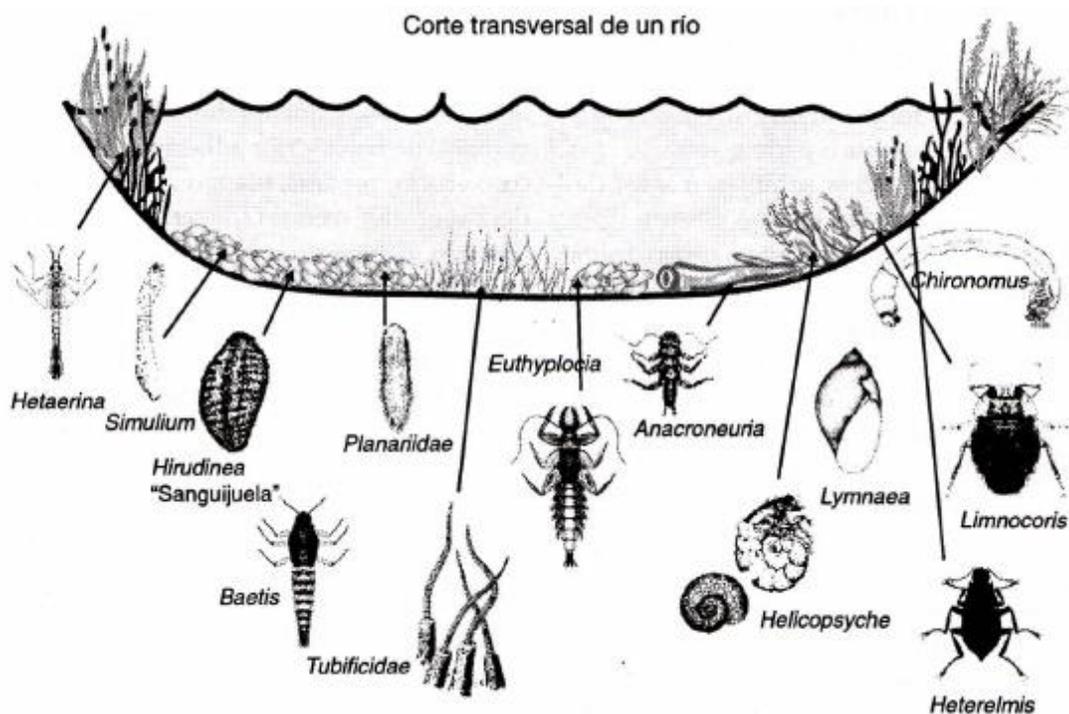


Figura 1. Organismos representativos de ecosistemas fluviales
(Roldán, y Ramírez, 2008)

3.4 Índice de calidad de hábitat

3.4.1 Protocolo de Evaluación Biológica Rápida (RBP Rapid Bioassessment Protocols)

El RBP es una síntesis de varios métodos que han sido aplicados por varias agencias estatales en recursos acuáticos en Estados Unidos, éste índice brinda ciertas ventajas al investigador como (Barbour, Gerritsen, Snyder, y Stribling, 1999):

- Mejora la rentabilidad
- Mantiene validez científica
- Aplicabilidad a múltiples sitios de investigación
- No afecta al medio ambiente (ya que el método se basa en observación)
- brinda resultados rápidos para la toma de decisiones en cuanto a manejo

El índice puede ser aplicado a cualquier región, pero precisa ser adaptado, es por esto que el índice fue adaptado para los ríos de la cuenca del lago de Atitlán (Reyes, 2012).

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- 4.1.1 Determinar el efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados en dos ríos de Sololá, Guatemala.

4.2 Objetivos específicos

- 4.2.1 Evaluar la calidad del hábitat de los ríos La Labor y Tzununá.
- 4.2.2 Describir la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos por microhábitat.
- 4.2.3 Establecer la relación entre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados acuáticos con los microhábitats y variables ambientales.

5. Materiales y Métodos

5.1 Ubicación geográfica

Se seleccionaron dos sitios de muestreo que forman parte del monitoreo de Dica/Amsclae: El río La Labor que pertenece al municipio de San José Chacayá en Sololá, el cual se encuentra a una altitud de 2,124 m.s.n.m. y el río Tzununá que pertenece al municipio de Santa Cruz La Laguna, Sololá, el cual presentó altitudes entre los 1,708 y 1,761 m.s.n.m. (Figura 2). Ambos sitios se encuentran dentro de la cuenca del lago Atitlán, la cual se encuentra ubicada en el sureste del Altiplano de Guatemala. Cabe destacar que esta cuenca fue declarada Área protegida de Reserva de Uso Múltiple (Congreso de la República, 1997).

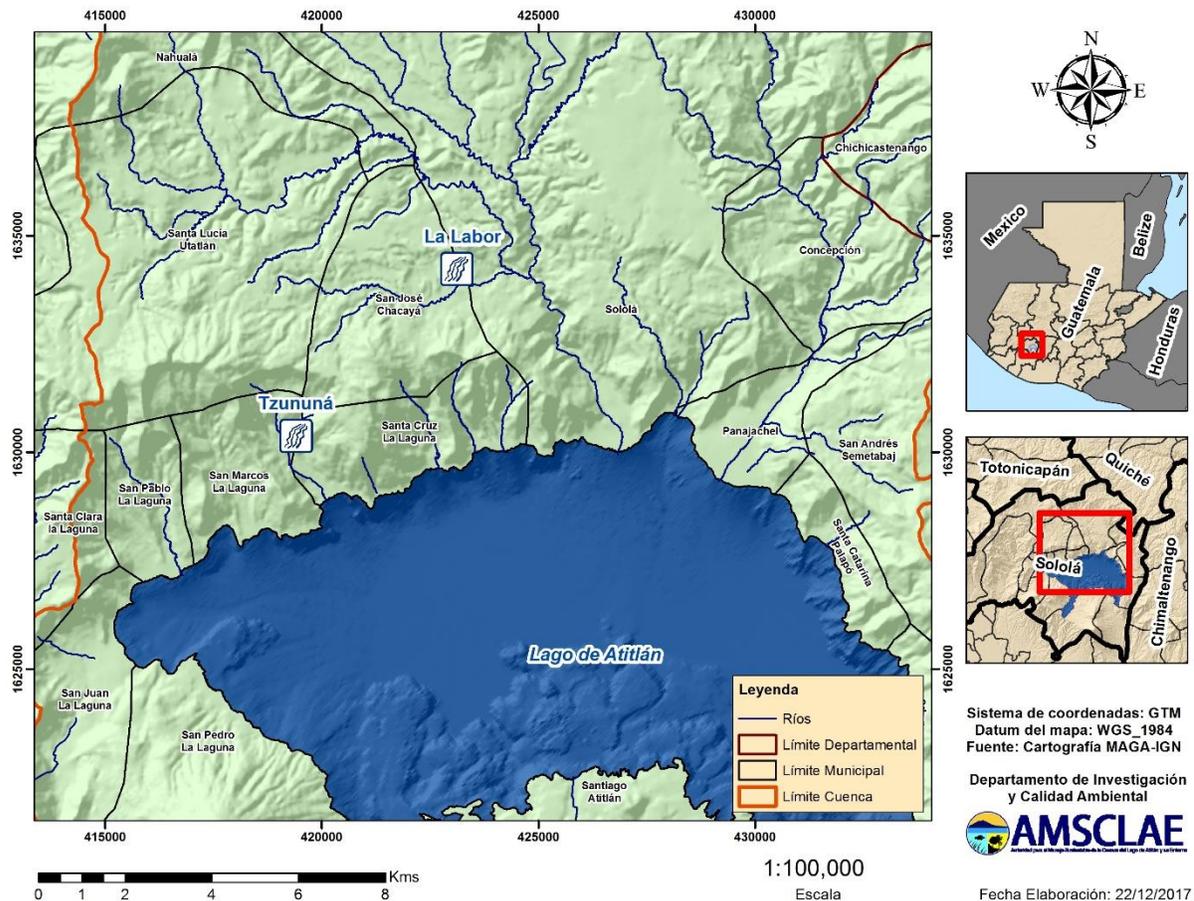


Figura 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

5.2 Variables

Se definen siete variables con sus respectivos indicadores para cumplir con los objetivos establecidos (Tabla 2).

Tabla 2. *Variables e indicadores a evaluar en cada punto de muestreo*

Variable	Indicador
Macroinvertebrados Acuáticos	Taxa.
Abundancia	Número de organismos por taxa.
Diversidad	Rarefacción, Diversidad verdadera o número efectivo de especies (¹ D), índice de dominancia (D), equidad de Pielou (J).
Microhábitats	Hojarasca (Hoja), grava o cascajo (Gra), piedras o guijarro (Pie), roca o peña (Roc), musgo (Mus), vegetación acuática (Veg), pozas (Poz) y cataratas (Cat).
Velocidad de corriente	Metros por segundo (m/s)
Profundidad	Metros (m)
Índice de calidad de hábitat*	0-40 Pésima 41-80 Mala 81-120 Regular 121-160 Buena 161-200 Muy buena.

Fuente: Barbour, Gerritsen, Snyder, y Stribling, 1999.

5.3 Selección de la muestra

Se seleccionaron ocho microhábitats donde se evaluó la abundancia, riqueza y diversidad de macroinvertebrados. El muestreo fue no probabilístico, esto debido a que la investigación es de carácter descriptivo, por lo que no se precisó estimar el tamaño de la muestra. El criterio de selección de puntos de muestreo fue en base a la experiencia del investigador. Los criterios se centraron específicamente en la diversidad de microhábitats presentes en los ríos, por lo que se eligieron sitios de mayor elevación con cobertura boscosa y poca intervención humana. Lo cual permitió obtener mayor número de micro hábitats (muestras) disponibles, cabe destacar que

debido a esta disponibilidad, se obtuvo un esfuerzo de muestreo heterogéneo por microhábitat (Tabla 3).

Se realizó un muestreo por cada río en el mes de abril, esto con el fin de evitar perturbaciones temporales en las descargas de agua, ya que podían ocasionar la pérdida de organismos o la aparición de otros que hayan sido arrastrados por la corriente (Sepulcre, 2012; Universidad Nacional Mayor de San Marcos y Museo de Historia Natural, 2014). Este criterio promovió la estabilidad en cuanto a abundancia, diversidad y microhábitats (Hurford, Schneider, y Cowx, 2010).

5.4 Descripción de los sitios de muestreo

5.4.1 Hojarasca

Se encontró en forma de paquetes grandes o dispersos en sitios con corriente que oscilaron entre los 0.001 y 0.382 m/s y profundidades desde 0.022 a 0.426 m. Los paquetes se encontraron en aguas estancadas, pozas y previo a pequeñas cataratas (Figura 3).



Figura 3. *Microhábitat hojarasca*

5.4.2 Grava o cascajo

Se encontró en forma de bancos, principalmente dentro de pozas y cerca de piedras o guijarro (Figura 4). La velocidad de corriente osciló entre 0.019 y 0.215 m/s, mientras que la profundidad varió entre 0.010 y 0.274 m.



Figura 4. Microhábitat grava o cascajo

5.4.3 Piedras o guijarro

Este microhábitat se encontró únicamente en el río Tzununá, donde fue muy abundante y ocupaba gran parte del cauce del río, el flujo laminar generalmente era mediano (Figura 5). La velocidad de corriente osciló entre los 0.014 y 0.668 m/s y la profundidad entre los 0.016 y 0.080 m.



Figura 5. Microhábitat piedras o guijarro. Derecha: casas de familia Glossosomatidae

5.4.4 Roca o peña

Este microhábitat era propio de grandes y pequeñas cataratas que presentaron un flujo laminar delgado (Figura 6), la velocidad de corriente osciló entre 0.017 y 0.687 m/s y la profundidad 0.005 a 0.217 m.



Figura 6. Microhábitat roca o peña

5.4.5 Musgo

Este microhábitat se encontró abundante únicamente en la zona de salpique de la catarata que presentó mayor altitud del río Tzununá (Figura 7). La velocidad de corriente varió entre los 0.001 y 0.340 m/s, mientras que la profundidad osciló entre los 0.002 y 0.011 m.



Figura 7. Microhábitat musgo en río Tzununá

5.4.6 Vegetación acuática

Al igual que los cantos rodados, este microhábitat se encontró únicamente en el río Tzununá, donde las muestras constaron principalmente de *Commelina* (Commelinaceae) y raíces que se encontraron en la zona ribereña, la cual contaba con plantas de la familias Asteraceae, Poaceae, Urticaceae, Ulmaceae, Liliaceae y Convolvulaceae (Figura 8). La velocidad de corriente osciló entre los 0.133 y 0.311 m/s, mientras que la profundidad varió entre 0.021 y 0.050 m.



Figura 8. Microhábitat vegetación acuática

5.4.7 Pozas

Estos sitios estaban compuestos principalmente de arena, materia orgánica en descomposición y un poco de hojarasca, en algunas se encontró gran cantidad de renacuajos (Figura 9). La velocidad de corriente varió entre 0.002 y 0.246 m/s, y la profundidad se encontró entre 0.168y 0.383 m.



Figura 9. Microhábitat pozas

5.4.8 Cataratas

De este microhábitat se tomó en cuenta principalmente la zona de salpique y zona de rápidos (Figura 10). La velocidad de corriente osciló entre 0.000 y 1.604 m/s, y la profundidad entre 0.000 y 0.051 m.



Figura 10. Microhábitat catarata

5.5 Procedimiento

5.5.1 Colecta de macroinvertebrados bentónicos por microhábitat

En cada río se seleccionó un tramo de 200 m, donde se identificaron todos los microhábitats presentes. Luego se procedió a la colecta de 65 muestras (Figura 11), de las cuales 23 fueron tomadas en el río La Labor y 42 en el río Tzununá. Se utilizó una red en D con la cual se muestreó un área de 900 cm² por muestra. El número de muestras por tipo de sustrato varió en cantidad debido a la disponibilidad de los mismos dentro de los ríos. El método de recolecta varió según el tipo de sustrato (Tabla 3).



Figura 11. Colecta de macroinvertebrados en los ríos La Labor y Tzununá

Tabla 3. *Método de muestreo por microhábitat en los ríos La Labor y Tzununá*

Micro hábitat	Número de muestras	Método de colecta
Hojarasca	12	Se colectaron los paquetes de hojas y se lavaron dentro de la red.
Grava o cascajo	12	Una persona tomó la red y la otra removió el fondo con las manos. En lugares de mayor profundidad una persona se colocó de espaldas a la corriente tomando la red mientras removía el sustrato con el pie.
Piedras o guijarro	12	Una persona tomó la red y la otra limpió las piedras con las manos y la corriente mientras removía el fondo.
Roca o peña	6	Las rocas se limpiaron con las manos mientras se recibió el material con la red.
Musgo	4	Se limpió con la mano mientras se recibió el material con la red.
Vegetación Acuática	4	Se tomó la vegetación, con ayuda de la corriente se sacudió y limpió dentro de la red.
Pozas	7	La red se empujó dentro del sustrato para colectar el material de fondo.
Cataratas	8	Red se colocó debajo de catarata y se lavó la roca con la mano.

Fuente: Darrigan, Vilches, Legarralde, y Damborenea, 2007; Ramírez, 2010 (a); Roldán, y Ramírez, 2008; Universidad Nacional Mayor de San Marcos y Museo de Historia Natural, 2014.

Las muestras colectadas se lavaron para retirar el exceso de material fino, luego de esto se almacenaron en bolsas con cierre hermético y se preservaron en alcohol etílico al 95%. Todas las muestras se identificaron con su respectiva etiqueta, la cual contenía código, fecha, nombre del lugar, tipo de microhábitat y nombre de colector para ser transportadas hacia el laboratorio de calidad de aguas de la Amsclae y ser procesadas.

5.5.2 Limpieza y separación de macroinvertebrados en laboratorio

En laboratorio, se depositaron las muestras en bandejas blancas y se procedió a la extracción de los organismos en un lugar con buena iluminación, los especímenes se depositaron en botes plásticos herméticos y fueron preservados en alcohol al 70% (Figura 12), los recipientes fueron rotulados con los datos antes mencionados.



Figura 12. Separación y almacenamiento de macroinvertebrados

Luego de la separación, se procedió a la identificación de los organismos hasta el más bajo nivel taxonómico posible, mediante un estereoscopio óptico (Olympus SZ61®) y claves taxonómicas especializadas (Vinson, 2006; Merritt, Cummings, y Berg, 2008; Silva, Nissimian, y Ferreira, 2007; Flowers, y de la Rosa, 2010; Ramírez, 2010 (b); Gutiérrez, 2010; Springer, 2010; Roughley, y Solis, s. f.) (Figura 13). Los organismos identificados se almacenaron en viales de vidrio, con su identificación correspondiente (taxonómica y geográfica). Estos fueron depositados en la colección de referencia del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura ubicada en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Biológicas y Oceanográficas.



Figura 13. Identificación de macroinvertebrados

5.5.3 Variables ambientales

En la mayoría de los puntos donde se tomaron las muestras se midió la profundidad y velocidad de corriente con un medidor magnético de caudales (OTT®). Cabe resaltar que en algunos microhábitats fue imposible la toma de estos datos debido a las condiciones del microhábitat. El índice de calidad de hábitat se realizó mediante el Protocolo de evaluación biológica rápida (RBP por sus siglas en inglés Rapid Bioassessment Protocols) (Reyes, 2012).

5.6 Análisis de la información

Se utilizó estadística descriptiva para representar gráficamente la abundancia y riqueza de macroinvertebrados acuáticos por tipo de microhábitat.

La diversidad se midió con un índice de la riqueza específica y varios índices de estructura, los cuales fueron realizados por medio del software PAST 2.17c. La riqueza fue analizada por medio de rarefacción basada en individuos, que es una técnica de interpolación que estima los valores de riqueza de especies en cada microhábitat para diferentes esfuerzos de muestreo (Villarreal, et al., 2006), esto permite realizar una comparación objetiva a pesar del tamaño muestral.

La diversidad verdadera se midió por medio del número efectivo de especies, el cual permite llegar a una interpretación intuitiva por medio de la transformación del índice de Shannon, el cual se expresa como ${}^1D = \exp(H')$ (Jost, 2006).

La estructura se midió por medio de índices de dominancia y equidad. El índice de dominancia varía de 0 (donde todos los taxos están igualmente presentes) a 1 (un taxón domina la comunidad) (Harper, 1999).

$$D = \left(\sum \left(\frac{ni^2}{n} \right) \right)$$

Donde:

ni = es el número de individuos del taxón i .

El índice de equidad de Pielou (J) se basa en la división de la diversidad de Shannon por el logaritmo del número de taxones. Mide la uniformidad con la que los individuos están divididos entre los taxones presentes (Harper, 1999).

Se realizó un modelo lineal general (MLG) tomando como variable independiente el microhábitat y las covariables (velocidad y profundidad) para determinar su efecto sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados (variables dependientes), cada una analizada por separado. Cabe notar que estas últimas dos fueron tratadas aplicando la distribución de Poisson, es decir, una transformación loglineal, la cual aproxima los recuentos obtenidos a la distribución normal. Para comprobar la aplicabilidad del modelo, se comprobó con el análisis de residuos.

6. Resultados y Discusión

6.1 Descripción del hábitat de los ríos La Labor y Tzununá

El valor del índice de calidad de hábitat para el río la labor fue de 137 (Anexo 1), lo cual lo clasifica como un sitio de buena calidad, no obstante, en años anteriores ha sido clasificado de excelente calidad, con una ponderación de 172. El río Tzununá presentó un valor de 156, siendo este de buena calidad, aunque en años anteriores se ha clasificado como excelente (Reyes, 2012; DICA, 2016).

Los cambios en cuanto a la puntuación del río Tzununá puede deberse a los criterios de evaluación, ya que pueden estar sujetos a cierta subjetividad (Barbour, Gerritsen, Snyder, y Stribling, 1999). Aun así, la buena calidad se atribuye principalmente a la gran heterogeneidad de sustratos disponibles para colonización, la poca o nula alteración del cauce y la ocurrencia frecuente de rápidos.

El río La Labor presentó alta heterogeneidad de sustratos, ya que contaba con cataratas grandes y pequeñas, áreas de pequeñas pozas con grava e incontables cúmulos de hojarasca. El trecho del río presentó dos relaciones de velocidad y profundidad, siendo estas lento/bajo y rápido/bajo. El cauce del río se encontró en buen estado, con ausencia de canalización o dragado. La deposición de piedras o sedimento fino fue muy baja, ya que el nivel del agua cubría aproximadamente el 50% del cauce. La ocurrencia de rápidos fue poco frecuente, no obstante, las pocas cataratas encontradas fueron de gran elevación. Se estimó que entre el 30% de los márgenes se presentaron erosionadas y la vegetación era estable, amplia y abundante.

El río Tzununá presentó gran abundancia de sustratos pedregosos y un buen número de cataratas. El trecho del río presentó tanto áreas de rápidos en baja y alta profundidad, como zonas profundas con aguas someras o estancadas. La deposición de sedimentos fue muy escasa, sin embargo, el nivel del agua no cubría todo el sustrato. En el cauce no se presentó alteración alguna y la frecuencia de rápidos fue bastante alta. Los márgenes se presentaron estables y con cobertura boscosa abierta.

6.2 Variables ambientales de los microhábitats

La velocidad de corriente se registró con valores bastante bajos, desde cero a 0.4 m/s en hojarasca, musgo, vegetación, grava y pozas, es lógico en los últimos dos debido a la naturaleza de estos microhábitats. En piedras y roca se presentaron velocidades de hasta 0.7 m/s, mientras que catarata presentó un rango mucho mayor, con un máximo de 1.6 m/s (Figura 14). La predominancia de velocidades bajas se atribuye principalmente a la temporada de muestreo y las características físicas propias de cada río.

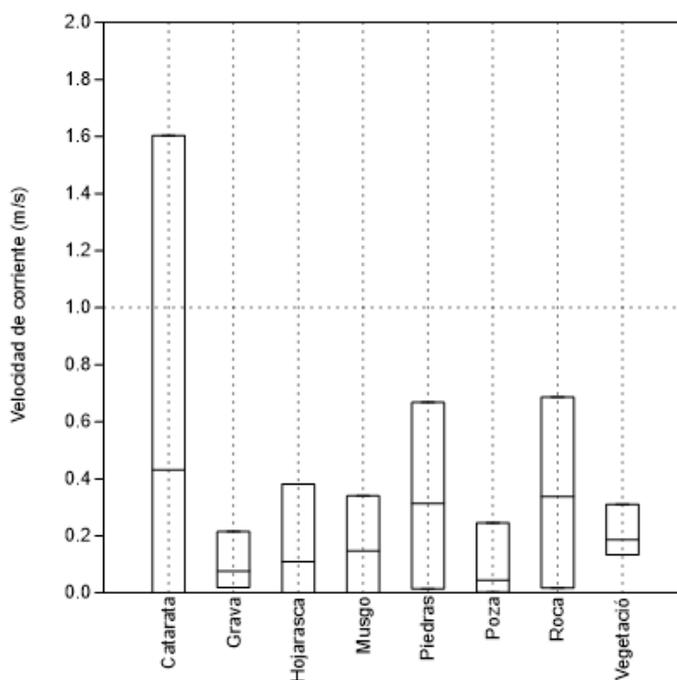


Figura 14. Box plot de velocidad de corriente por microhábitat

En cuanto a profundidad, musgo, catarata, piedras y vegetación presentaron las menores profundidades debido a que se encontraron en partes con flujo laminar delgado y/o muy cerca de la superficie. Microhábitats como, grava, poza y hojarasca presentaron los mayores valores de profundidad, siendo este último el que presentó mayor rango, debido a que se encontró tanto en zonas superficiales como depositada en pozas. Rocas presentó profundidades bajas a medias (Figura 15).

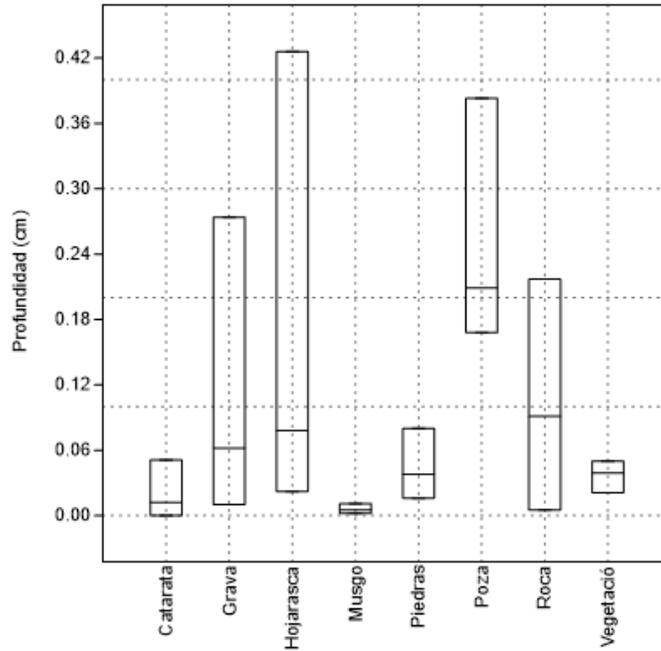


Figura 15. Box plot de profundidad en los microhábitats evaluados

6.2 Composición de la comunidad de macroinvertebrados

Se colectaron 19,529 organismos pertenecientes a 91 taxas (Anexo 2), correspondientes a cuatro clases, 11 órdenes, 49 familias y 65 géneros (Tabla 4). Los taxas más abundantes fueron Tanytarsini (3,967 organismos), seguido de Orthoclaadiinae (2,051) y *Culoptila* (1,536).

Tabla 4. *Abundancia de orden/familia/género por los microhábitats evaluados. Catarata (Cat), grava (Gra),hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)*

Taxa	Cat	Gra	Hoj	Mus	Pie	Poz	Roc	Veg
TROMBIDIFORMES	1	-	-	2	-	-	-	-
TUBIFICIDA	5	13	-	6	2	5	-	3
COLLEMBOLA	-	-	2	2	-	-	-	-
COLEOPTERA								
Dytiscidae	-	-	24	-	-	-	-	-
Elmidae sp.	-	-	-	193	-	-	-	3
<i>Cyloopus</i>	-	-	17	90	19	-	2	3
<i>Heterelmis</i>	3	52	207	23	141	39	2	91
<i>Macrelmis</i>	5	12	105	256	119	6	-	198
<i>Mycrocylloepus</i>	-	-	1	8	2	-	-	6
<i>Phanocerus</i>	-	-	13	-	3	5	-	164
Hydrophilidae	-	-	13	4	1	-	-	7
Lampyridae	2	-	-	-	-	-	-	1
<i>Limnichus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Psephenus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1
Ptilodactylidae	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Scirtes</i>	-	1	84	-	-	-	-	3
Staphilinidae	-	-	7	3	-	-	-	1
DIPTERA								
Blephacerae sp.	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aposonalco</i>	149	-	-	1	-	-	-	-
<i>Paltostoma</i>	65	-	2	-	1	-	1	-
Ceratopogonidae sp.	-	2	1	1	-	1	-	-
<i>Atrichopogon</i>	1	-	2	-	1	-	-	3
<i>Bezzia</i>	3	16	36	19	10	30	-	-
<i>Probezzia</i>	-	-	1	-	-	1	-	1
Chironomidae sp.	1	19	89	11	46	11	3	-

Tabla 4. Continuación. *Abundancia de orden/familia/género por los microhábitats evaluados. Catarata (Cat), grava (Gra),hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)*

Taxa	Cat	Gra	Hoj	Mus	Pie	Poz	Roc	Veg
DIPTERA								
Chironomini	-	56	211	2	14	47	-	2
Orthoclaadiinae	40	44	848	856	139	27	51	46
Tanyptodiinae	2	41	566	224	14	33	1	1
Tanytarsini	51	300	2,143	856	491	106	14	6
<i>Dixella</i>	-	1	4	1	4	1	-	9
Dolichopodidae	-	-	-	-	-	1	-	-
Empididae sp.	-	1	2	-	-	-	-	-
<i>Clinocera</i>	-	-	14	-	3	-	-	2
<i>Neoplasta</i>	-	-	9	-	-	-	-	-
Ephydridae	-	-	1	-	-	-	1	-
Muscidae	1	-	1	40	-	1	-	-
Psychodidae sp.	5	-	-	4	12	-	-	-
<i>Maruina</i>	450	-	-	12	6	-	2	-
<i>Psychoda</i>	-	-	1	1	10	-	2	2
Simulidae sp.	-	-	-	2	1	-	-	-
<i>Simulium</i>	92	2	54	17	38	-	499	94
Stratiomyidae	3	-	1	1	1	2	-	1
Tabanidae	-	-	-	1	-	-	-	-
Tipulidae	2	24	56	9	1	15	1	6
EPHEMEROPTERA								
Baetidae	4	43	58	20	30	22	17	9
<i>Americabaetis</i>	12	227	625	89	159	31	6	15
<i>Baetis</i>	11	18	69	11	195	2	48	9
<i>Baetodes</i>	52	-	6	1	23	-	102	1
<i>Camelobaetidius</i>	-	7	6	-	45	2	4	-
<i>Cloeodes</i>	-	1	1	-	-	-	-	-

Tabla 4. Continuación. *Abundancia de orden/familia/género por los microhábitats evaluados. Catarata (Cat), grava (Gra), hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)*

Taxa	Cat	Gra	Hoj	Mus	Pie	Poz	Roc	Veg
EPHEMEROPTERA								
<i>Fallceon</i>	1	232	1	-	10	21	2	-
<i>Epeorus</i>	1	-	-	-	28	-	-	-
<i>Leptohyphes</i>	-	15	92	-	75	-	-	193
<i>Tricorythodes</i>	-	1	9	-	-	1	-	-
<i>Farrodes</i>	1	59	1,201	-	28	190	2	32
HEMIPTERA								
<i>Abedus</i>	-	-	1	-	-	-	-	3
<i>Aquarius?</i>	1	1	-	-	15	3	3	-
<i>Hebrus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Cryphocricos</i>	19	-	2	-	2	-	1	1
<i>Notonecta</i>	-	-	-	-	-	1	-	-
Veliidae	-	8	10	-	1	-	1	-
<i>Microvelia</i>	1	3	4	4	2	-	1	-
<i>Rhagovelia</i>	-	5	3	-	-	7	-	5
LEPIDOPTERA								
<i>Petrophila</i>	3	-	1	-	4	-	-	2
ODONATA								
<i>Rhionaeschna?</i>	-	-	1	-	3	-	-	-
<i>Hetaerina</i>	-	2	14	-	-	1	-	21
<i>Argia</i>	-	-	43	-	-	-	-	-
<i>Epigomphus</i>	-	-	-	-	1	-	-	-
Libellulidae	-	5	2	-	5	-	-	-
PLECOPTERA								
<i>Anacroneuria</i>	-	-	5	-	39	1	-	7
TRICHOPTERA								
Glossosomatidae	-	-	-	-	13	-	1	-

Tabla 4. Continuación. *Abundancia de orden/familia/género por los microhábitats evaluados. Catarata (Cat), grava (Gra), hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)*

Taxa	Cat	Gra	Hoj	Mus	Pie	Poz	Roc	Veg
TRICHOPTERA								
<i>Culoptila</i>	4	9	147	-	1,085	2	247	42
<i>Helicopsyche</i>	-	1	19	-	40	2	15	12
<i>Atopsyche</i>	8	2	27	23	51	-	2	1
Hydropsychidae sp.	4	1	24	-	8	2	-	1
<i>Calosopsyche</i>	2	35	222	56	199	1	15	227
<i>Leptonema</i>	-	-	-	-	3	-	-	6
<i>Cerasmotrachia?</i>	3	-	-	26	-	-	2	-
<i>Hydroptila</i>	17	2	3	99	6	-	20	-
<i>Leucotrichia</i>	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mayatrichia</i>	-	1	2	-	5	-	2	3
<i>Metrichia</i>	1	-	-	-	5	-	1	-
Lepidostomatidae	-	-	56	-	-	-	-	-
<i>Lepidostoma</i>	-	4	235	-	16	2	5	178
<i>Nectopsyche</i>	-	1	2	-	-	-	-	-
<i>Oecetis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Triaenodes</i>	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Wormaldia</i>	6	-	9	66	5	-	1	-
<i>Cernotina</i>	-	5	253	-	18	30	2	-
<i>Cynnellus</i>	1	-	-	-	-	-	-	-
Dugesiiidae	1	2	54	16	40	-	-	45
Abundancia total	1,036	1,274	7,723	3,056	3,238	652	1,079	1,471
Número de taxa	42	41	65	39	56	35	35	49
Esfuerzo de muestreo	8	12	12	4	12	7	6	4

Los órdenes Diptera, Trichoptera, Coleoptera y Hemiptera presentaron mayor riqueza taxonómica, ya que se registraron 13, 9, 9 y 6 familias respectivamente. Otros órdenes como Odonata y Ephemeroptera presentaron riquezas de 5 y 4 familias respectivamente. En otras regiones de Guatemala, como en los ríos de la eco-región Lachuá, los coleópteros y ephemeropteros presentaron mayor diversidad de familias (García, y Méndez, 2010). En regiones alto andinas como la Patagonia, se encontraron los mismos resultados, sin embargo, Ephemeroptera se reportó como el cuarto taxa más diverso (Villamarín, 2008).

6.2.1 Abundancia

En cuanto a las abundancias por microhábitat destacó hojarasca (7,723 organismos) (Manrique, y Gómez, 2017), piedras (3,238) y musgo (3,056), se encontraron abundancias relativamente grandes en vegetación (1,471), grava (1,274), roca o peña (1,079) y cataratas (1,036), por último, la menor abundancia se encontró en pozas (652) (Figura 16). Cabe destacar que el esfuerzo de muestreo fue distinto en los microhábitats evaluados (Tabla 4) por lo que puede compararse al igual que se mencionó en el inciso anterior.

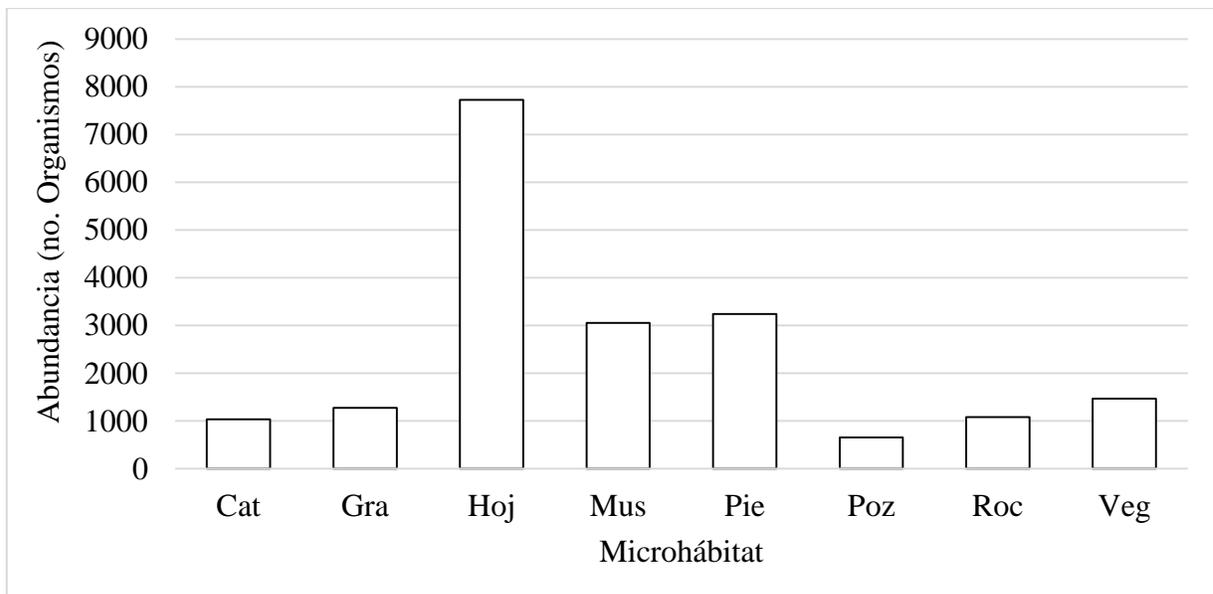


Figura 16. Abundancia total por microhábitat. Catarata (Cat), grava (Gra), hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)

La clase Insecta presentó mayor número de organismos y los órdenes más abundantes fueron Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Coleoptera. La gran capacidad de adaptación de las ninfas y larvas es un factor importante en el número de organismos. Estos resultados concuerdan relativamente con otros ríos dentro de la cuenca del lago Atitlán (Reyes, 2012), así como en otras regiones de Guatemala (García, y Méndez, 2010), Costa Rica (Ramírez, y Pringle, 1998) y la Patagonia (Velásquez, y Miserendino, 2003; Villamarín, 2008).

Respecto a la abundancia de órdenes por microhábitat, se encontró que Diptera sobresalió en hojarasca, catarata, musgo y peña. Los dípteros y efímeros fueron los más abundantes en grava y pozas. En piedras o guijarro destacó Trichoptera, el cual se presentó en gran cantidad junto a Coleoptera en vegetación acuática (Figura 17).

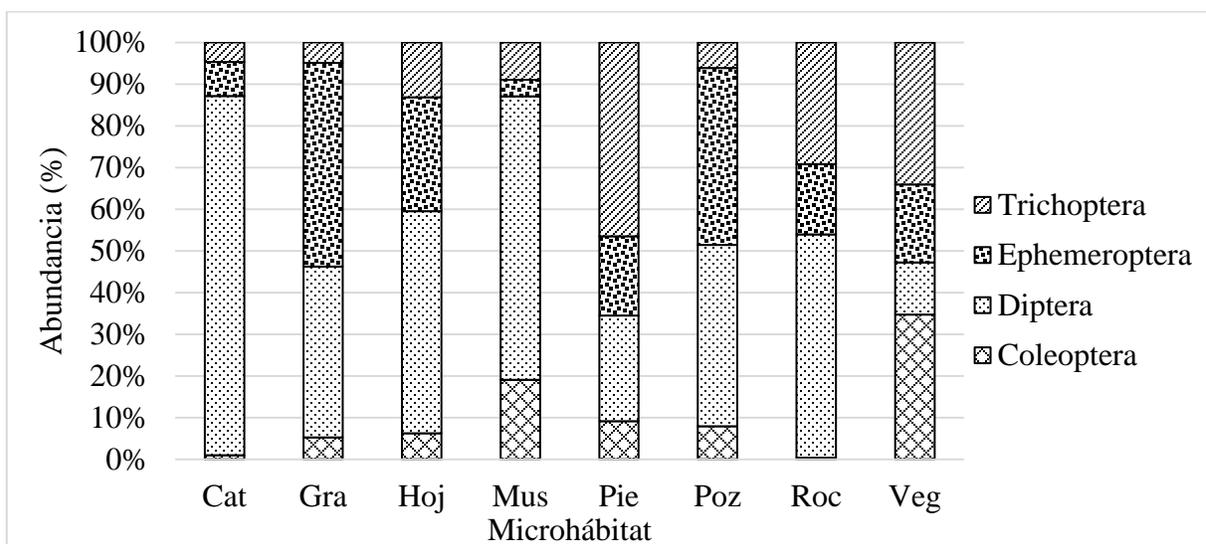


Figura 17. Abundancia relativa de órdenes representativos de la clase Insecta. Catarata (Cat), grava (Gra), hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)

Dentro de los órdenes de la clase Insecta que fueron menos representativos se encontró Hemiptera, sobre todo en musgo y roca, donde no se registró la presencia de algún otro orden menor. Este taxa superó a los odonatos en grava y pozas y a los plecópteros en cataratas. Los Odonatos fueron más abundantes en hojarasca y vegetación, mientras que los plecópteros sobresalieron en piedras o guijarro (Figura 18).

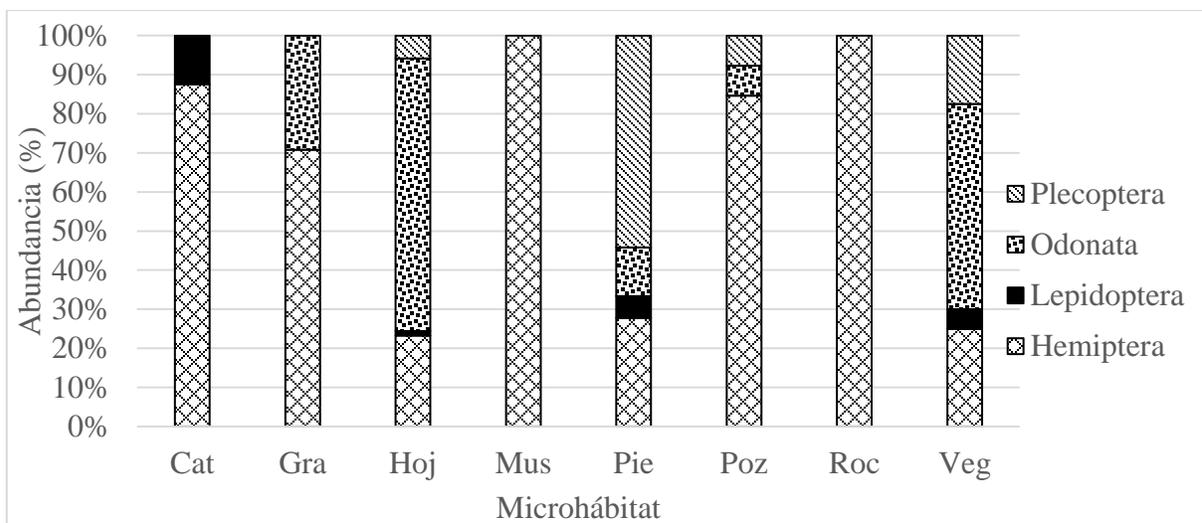


Figura 18. Abundancia relativa de órdenes menos abundantes de la clase Insecta. Catarata (Cat), grava (Gra), hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)

Hubo organismos que fueron poco abundantes. La familia Tubificidae tuvo mayor presencia en pozas (exclusivamente), grava y cataratas. La clase Neophora predominó en vegetación, piedras, hojarasca y musgo. El orden Trombidiformes se encontró únicamente en cataratas y musgo, mientras que el orden Collembola se encontró únicamente en musgo y hojarasca, cabe destacar que estos últimos dos taxa fueron los que presentaron menor representatividad (Figura 19).

En hojarasca, se registró mayor abundancia de los taxos Tanytarsini (2,143), *Farrodes* (1,201) y Orthoclaadiinae (848). En piedras predominó *Culoptila* (1,085), Tanytarsini (491) y *Calosopsyche* (199). En musgo Tanytarsini (856), Orthoclaadiinae (856) y *Macrelmis* (256), en vegetación dominó *Calosopsyche* (227), *Macrelmis* (198) y *Leptohyphes* (193), mientras que en grava abundó Tanytarsini (300), *Fallceon* (232) y *Americabaetis* (227), en roca o peña *Simulium* (499), *Culoptila* (247) y *Baetodes* (102), en cataratas dominaron *Maruina* (450), *Aposonalco* (149) y *Simulium* (92) y en pozas *Farrodes* (190), Tanytarsini (106) y Chironomini (47).

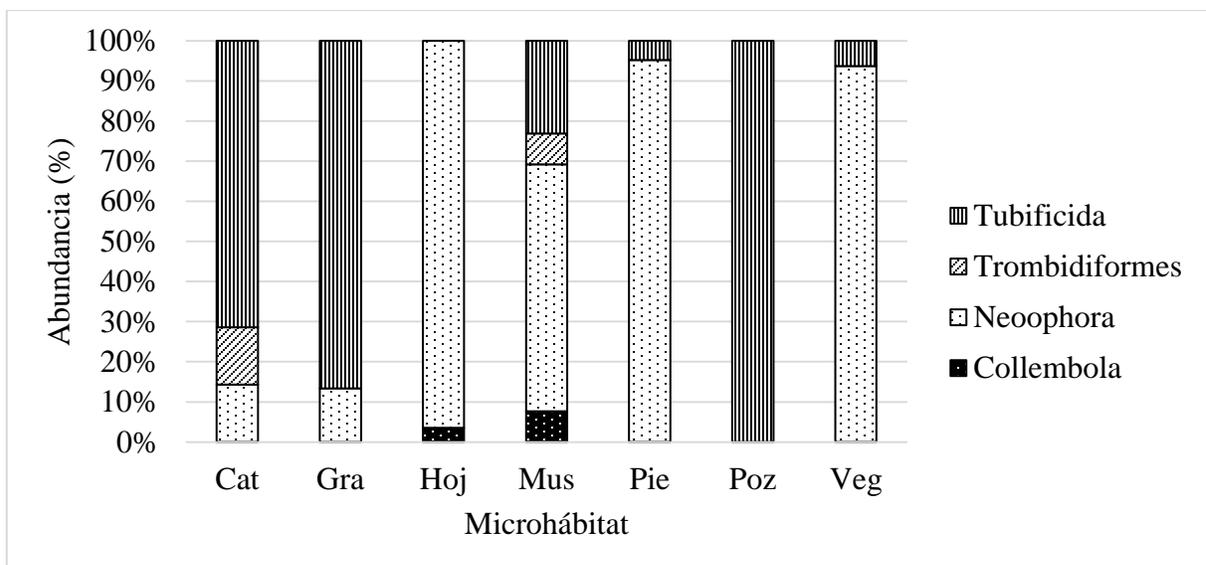


Figura 19. Abundancia relativa de taxas menores. Catarata (Cat), grava (Gra), hojarasca (Hoj), musgo (Mus), piedras (Pie), pozas (Poz), roca (Roc), vegetación acuática (Veg)

Se encontraron taxa exclusivos de algún microhábitat, ya que en hojarasca se encontró *Neoplasta*, *Argia*, *Oecetis* y *Dytiscidae*; en vegetación se registró la presencia de *Psephenus*, *Ptilodactylidae*, *Hebrus* y *Triaenodes*; *Tabanidae* se encontró únicamente en musgos, *Epigomphus* en piedras, por último, *Notonecta* y *Dolichopodidae* en pozas.

Taxa como *Heterelmis*, *Tipulidae*, *Americabaetis*, *Baetis*, *Calosopsyche* y los quironómidos *Orthoclaadiinae*, *Tanytarsini* y *Tanypodinae*, se encontraron en todos los microhábitats evaluados. Esto demuestra que los mismos taxa pueden encontrarse en una amplia gama de velocidades y profundidades, debido al microambiente complejo y la capacidad de tolerancia de los organismos (Jowett, 2003).

6.3 Diversidad de macroinvertebrados por microhábitat

La curva de rarefacción permitió hacer una comparación objetiva de la riqueza de especies para una muestra estándar de 641 individuos, donde se obtuvieron los siguientes valores: piedras (41), vegetación (38), hojarasca (37), catarata (35), pozas (34), grava (34), roca o peña (29) y musgo (28). Debido a que no existe superposición entre los intervalos de confianza, existen diferencias significativas de riqueza entre vegetación con musgo y roca, piedras con pozas y roca, por último, hubo diferencias entre pozas y musgo (Figura 20).

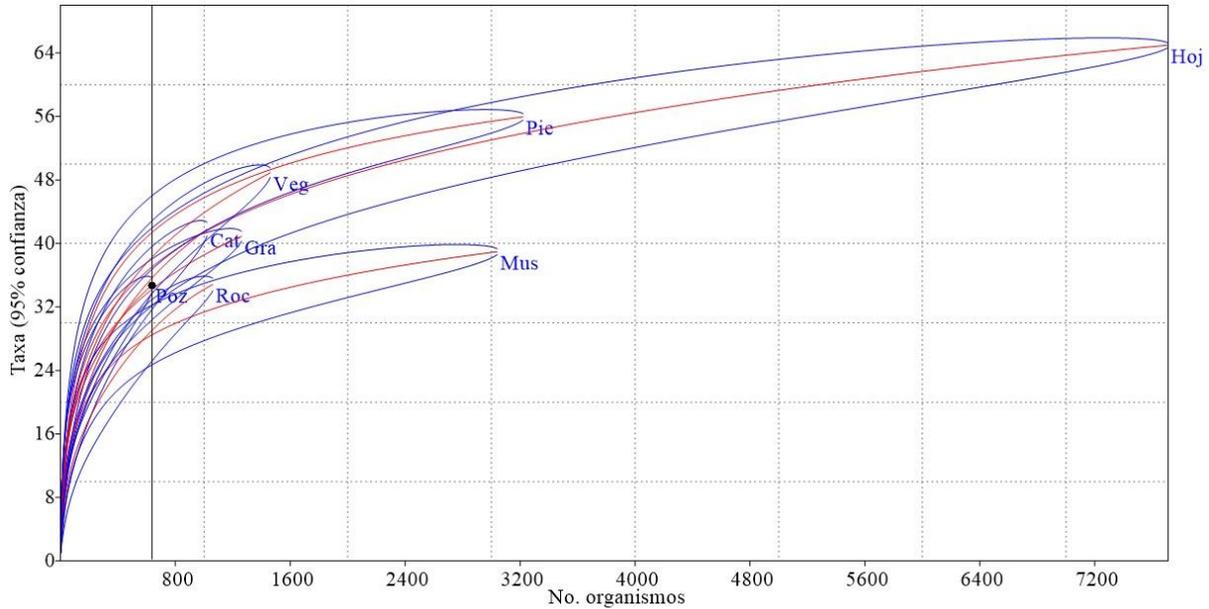


Figura 20. Curva de rarefacción para una muestra estándar de 641 individuos. Línea roja: curva de rarefacción y línea azul: intervalo de confianza 95%

En relación al cálculo de la diversidad verdadera, se encontró que vegetación tiene una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 14.40 géneros efectivos, piedras y hojarasca presentaron 13.38 y 13.30 géneros respectivamente, siendo estos los que presentaron mayores valores, mientras que los valores bajos se encontraron en musgo que presentó 9.30 géneros efectivos, catarata con 8.41 y roca 6.07 géneros.

El índice de dominancia presentó valores entre 0.09 y 0.28, mientras que el de equidad de Pielou un valor mínimo de 0.50 y máximo de 0.70 (Tabla 5). Uno de los microhábitats con mayor dominancia fue roca, ya que de todos los taxa presentes sobresalieron *Simulium* y *Culoptila*. Catarata presentó también uno de los mayores valores de dominancia, ya que *Maruina* y *Aposonalco* tuvieron abundancias significativas respecto a otros taxa. De manera contrastante, estos microhábitats presentaron los menores valores de diversidad. Pozas, vegetación y grava presentaron valores altos de equidad, por lo que estas comunidades tuvieron un número homogéneo de organismos de los distintos taxa.

Tabla 5. *Diversidad e índices ecológicos por microhábitat*

Microhábitat	Número efectivo de especies (¹ D)	Dominancia	Equidad de Pielou (J)
Catarata	8.41	0.23	0.57
Grava	12.35	0.13	0.68
Hojarasca	13.30	0.13	0.62
Musgo	9.30	0.18	0.61
Piedras	13.38	0.15	0.64
Pozas	12.42	0.13	0.71
Roca	6.07	0.28	0.51
Vegetación	14.40	0.10	0.69

6.4 Relación entre abundancia de macroinvertebrados con microhábitats y variables ambientales

El análisis de varianza del modelo lineal general mostró que el microhábitat tiene un efecto significativo en la abundancia de macroinvertebrados ($p=0.000$), específicamente grava ($p=0.007$) y hojarasca ($p=0.000$), mientras que las variables ambientales, velocidad de corriente ($p=0.864$) y profundidad ($p=0.085$), no presentaron significancia en cuanto a la abundancia.

6.5 Relación entre riqueza de macroinvertebrados con microhábitats y variables ambientales

El análisis de varianza del modelo lineal general indica que el microhábitat tiene un efecto significativo en la riqueza de taxones de macroinvertebrados ($p=0.000$), al igual que la profundidad ($p=0.030$), la cual presentó una relación inversa. La velocidad no mostró efecto alguno. Dentro de los microhábitats, catarata ($p=0.000$), hojarasca ($p=0.000$), piedras ($p=0.001$) y roca ($p=0.002$) son los que tienen influencia en el número de taxa.

Se considera que la velocidad de corriente es una variable física compleja debido a que interactúa con muchos otros factores bióticos y abióticos (Cushing, y Allan, 2001). Catarata fue un microhábitat que presentó valores altos de velocidad, sin embargo, los resultados demostraron que esta variable no determinó la abundancia de los dípteros *Maruina*, *Aposonalco* y *Simulium*. Se asume que las adaptaciones morfológicas especializadas de estos taxa para la

obtención de oxígeno por la piel y estructuras de fijación como ventosas y producción de seda, pudieron ser responsables del éxito en microhábitats expuestos a corrientes (Merritt, Cummings, y Berg, 2008).

Roca, pozas y grava fueron un claro ejemplo del efecto inverso de la profundidad sobre la riqueza, ya que estos presentaron riquezas bajas y valores altos de profundidad. En cuanto a la abundancia, las áreas de deposición (en el caso de los dos últimos microhábitats) se consideran poco importantes para el establecimiento macroinvertebrados por la pobreza en cuanto a calidad de hábitat. Principalmente por la reducción de la disponibilidad de intersticios y el bajo suministro de alimento. Además, la alta presencia de sedimentos puede llegar a dañar los mecanismos respiratorios (Ramírez, Pringle, y Agüero, 1998; Sepulcre, 2012), principalmente en los organismos del orden Ephemeroptera, los cuales fueron muy abundantes.

Piedras o guijarro fue uno de los microhábitats más exitosos. Se determinó que las variables de profundidad y el hábitat como tal, fueron los responsables de los altos valores de riqueza y abundancia de macroinvertebrados. Cualidades como la idoneidad del sustrato para el crecimiento de algas y la presencia de intersticios que promueven la captura de materia orgánica, son fuentes importantes de alimento (Velásquez, y Miserendino, 2003), por último, este microhábitat brinda suficiente refugio, principalmente a los tricópteros *Culoptila* y *Calosopsyche*, los cuales se encontraron en abundancias importantes.

El material vegetal se considera importante debido a que brinda estructura física y alimento abundante y de buena calidad. Estos factores influenciaron positivamente la riqueza en microhábitats como la vegetación acuática (Meza, Rubio, Días, y Walteros, 2012; Rivera, 2004). No obstante, las áreas cubiertas de musgo tuvieron influencia positiva sobre la abundancia únicamente.

Otro microhábitat de carácter vegetal con efectos positivos para los macroinvertebrados fue hojarasca, la cual se encuentra fácilmente en tramos boscosos poco intervenidos y brinda una mayor disponibilidad de recursos (Burdett, y Watts, 2009; Meza, Rubio, Días, y Walteros, 2012), por lo que alberga la mayor abundancia y riqueza de taxa de macroinvertebrados

(Granados, y Batista, 2017). Estos atributos definen la importancia de los bosques en los sistemas lóticos.

Se ha demostrado que la disminución en la cobertura boscosa afecta la calidad de hábitat de los ríos, ya que genera aumento en la longitud del cauce y temperatura del agua, fomenta la sedimentación en zonas de rápidos y promueve la cobertura perifítica. También afecta significativamente la abundancia de macroinvertebrados.

Se ha registrado que la alteración de las condiciones ecológicas dentro de los ríos afecta a los grupos ya establecidos en cuanto a abundancia. Por lo que promueve la colonización de otros grupos, los cuales también afectan la distribución de la comunidad de macroinvertebrados dentro de los sistemas acuáticos (Reyes, 2012). Esto demuestra la importancia del buen manejo de las cuencas, en especial la del lago Atitlán. Donde existen amenazas como la construcción de nuevas vías de acceso, expansión de la frontera agrícola, urbanización, incendios forestales, degradación de hábitats y contaminación (Dix, Fortín, Medinilla, y Ríos, 2003). Dichas amenazas afectan negativamente la calidad de hábitat de los ríos, por ende, la disponibilidad de microhábitats y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados.

Como se ha comprobado, el microhábitat juega un papel fundamental en la riqueza de macroinvertebrados. Algunos autores confirman los resultados obtenidos en esta investigación, incluso además han reportado que ciertos parámetros fisicoquímicos pueden influenciar la composición de macroinvertebrados, tales como sólidos disueltos, pH (Moya, Gibon, Oberdorff, Rosales, y Domínguez, 2009), temperatura y turbidez (Roy, y Homechaudhuri, 2017).

Por último, esta investigación demostró que la presencia y dominancia de elementos de heterogeneidad en los ríos contribuye a incrementar la diversidad de hábitat físico y de las fuentes alimenticias como material alóctono y autóctono, además de proveer refugio en abundancia (Pardo, et al., 2002; Villamarín, 2008), esto determina la riqueza y productividad de los macroinvertebrados en los ríos (Velásquez, y Miserendino, 2003).

7. Conclusiones

- Los ríos La Labor y Tzununá presentaron buena calidad de hábitat debido principalmente a la heterogeneidad de sustratos disponibles, la poca alteración en el cauce y la ocurrencia frecuente de rápidos.
- Las puntuaciones obtenidas en la calidad de hábitat de ambos ríos y la estructura de macroinvertebrados pone en evidencia que la heterogeneidad del hábitat es un factor determinante en la composición de la comunidad de macroinvertebrados, ya que este provee refugio y alimento en abundancia, lo cual satisface los requerimientos de los organismos.
- Los microhábitats que presentaron mayor abundancia, riqueza y diversidad fueron piedras, hojarasca y vegetación. Pozas presentó la menor abundancia y musgo presentó la mayor abundancia pero la menor riqueza. Los microhábitats de roca y catarata presentaron altos índices de dominancia, mientras que las pozas, la vegetación y la grava mostraron poblaciones más homogéneas.
- Los microhábitats de hojarasca, catarata, musgo y peña presentaron alta abundancia de organismos del orden Diptera, el cual sobresalió junto a Ephemeroptera en grava y pozas. En piedras o guijarro destacó Trichoptera, el cual se presentó de manera abundante junto al orden Coleoptera en vegetación acuática. Los taxa Tanytarsini, Orthocladiinae, *Simulium* (Diptera), *Calosopsyche*, *Culoptila* (Trichoptera), *Macrelmis* (Coleoptera) y *Farrodes* (Ephemeroptera) presentaron las mayores abundancias en la mayoría de los microhábitats evaluados.
- La abundancia se vio influenciada por el microhábitat, específicamente grava y hojarasca. Mientras que la riqueza se vio influenciada de igual manera por el microhábitat, específicamente por catarata, hojarasca, piedras y roca o peña, la profundidad también tiene un efecto de carácter inverso sobre la riqueza de taxa.

8. Recomendaciones

- Realizar este mismo estudio aunado a parámetros fisicoquímicos (principalmente pH, temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales), con el fin de generar información más sólida acerca de los efectos de estas variables sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados por microhábitat.
- Es importante el adecuado manejo de los ríos, sobre todo la conservación de bosques, ya que son fuente principal de microhábitats que albergan gran abundancia, riqueza y diversidad de macroinvertebrados.

9. Bibliografía

- Arcos, I. (2005). *Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras*. Tesis de Maestría. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE].
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., y Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and Fish*. (2a. ed.). Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Brown, A. V., y Brussock, P. P. (1991). Comparisons of benthic invertebrates between riffles and pools. *Hydrobiologia*, 220 (2), 99-108.
- Burdett, A. S., y Watts, R. J. (2009). Modifying living space: An experimental study of the influences of vegetation on aquatic invertebrate community structure. *Hydrobiologia*, 618 (1), 161-173.
- Cogerino, L., Cellot, B., y Bournaud, M. (1995). Microhabitat diversity and associated macroinvertebrates in aquatic banks of a large European river. *Hydrobiologia*, 304 (2), 103-115.
- Colbert, E. C., y Allan, J. D. (2001). *Streams: Their ecology and life*. California, Estados Unidos: Academic Press.
- Congreso de la República de Guatemala. (1997). Decreto 64-97: Ley que declara área protegida de reserva de uso múltiple cuenca del lago de Atitlán. Guatemala: Autor.
- Crisci, V., Bispo, P., y Froehlich, C. (2007). Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages in litter in a mountain stream of Atlantic Rainforest from Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24 (3), 545-551.
- Cushing, C. E., y Allan, J. D. (2001). *Streams: Their ecology and life*. San Diego, California, Estados Unidos: Academic Press.
- Darrigan, G., Vilches, A., Legarralde, T., y Damborenea, C. (2007). *Guía para el estudio de macroinvertebrados: I. Métodos de colecta y técnicas de fijación*. La Plata, Buenos Aires, Argentina: ProBiota, FCNyM, UNLP.

- Davies, P. E., & Nelson, M. (1994). Relationships between riparian buffer widths and the effects of logging on stream hábitat, invertebrate community composition and fish abundance. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 45 (7), 1289 – 1305.
- Departamento de Investigación y Calidad Ambiental [DICA]. (2016). *Informe de calidad de agua de ríos de la cuenca del lago de Atitlán* [en línea]. Recuperado diciembre 10, 2017, de <http://www.amsclae.gob.gt/wp-content/uploads/2016/12/rios2016.pdf>
- Dix, M., Fortín, I., Medinilla, O., y Ríos, L. (2003). *Diagnóstico ecológico-social en la cuenca de Atitlán*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala [UVG], y The Nature Conservancy [TNC].
- Eyes-Escalante, M., Rodríguez-Barrios, J., y Gutiérrez-Moreno, L. C. (2012). Descomposición de la hojarasca y su relación con los macroinvertebrados acuáticos del río Gaira (Santa Marta-Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 17 (1), 77-92.
- Fernández, H. R., y Domínguez, E. (Eds.) (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. San Miguel de Tucumán, Argentina: Editorial Universitaria de Tucumán.
- Flowers, R. W., y de la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista Biología Tropical*, 58 (4), 63-93.
- García, P., y Méndez, C. (2010). Análisis de la distribución de macroinvertebrados acuáticos a escala detallada en la ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. *Revista Científica del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas*, 19 (2), 37-50.
- Granados, C., y Batista, A. (2017). Macroinvertebrados acuáticos. En: Lasso, C. A. y Morales-Betancourt, M. A. (Eds.), *Fauna de Caño Cristales, Sierra de la Macarena, Meta, Colombia* (pp. 47-66). Bogotá, Colombia: Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador*. 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*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.

- Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4), 3-37.
- Harper, D. A. T. (Ed.). (1999). *Numerical palaeobiology*. United States: John Wiley & Sons.
- Hurford, C., Schneider, M., y Cowx, I. (Eds.). (2010). *Conservation monitoring in freshwater habitats*. Dordrecht, Heidelberg, Londres, Nueva York; Países Bajos, Alemania, Inglaterra y Estados Unidos: Springer Science + Business Media.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113 (2), 363-375.
- Jowett, I. G. (2003). Hydraulic constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in grave-bed rivers. *River Research and Applications*, 19 (5-6), 495-507.
- Logan, P., y Brooker, M. P. (1987). The macroinvertebrate faunas of riffles and pools. *Water Research*, 17 (3), 263-270.
- Maneechan, W., y Prommi, T. O. (2015). Diversity and distribution of aquatic insects in streams of the Mae Klong watershed, western Thailand. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2015 (1), 1-7.
- Manrique, E., y Gómez, S. (2017). *Colonización de sustratos por macroinvertebrados acuáticos en las aguas de la quebrada Charquirá del municipio de Carmen de Carupa*. Tesis de Licenciatura. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Menjívar Rosa, R. A. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Diptera en El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., y Berg, M. B. (Eds.). (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Estados Unidos: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Meza-S, A. M., Rubio-M, J., G-Dias, L., y M-Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34 (2), 443-456.
- Moya, N., Gibon, F. M., Oberdoff, T., Rosales, C., y Domínguez, E. (2009). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología Aplicada*, 8 (2), 105-114.
- Orth, K. (2009). *Monitoreo hidrobiológico del proyecto Pascua-Lama: Desarrollo de un sistema basado en los macroinvertebrados bentónicos como complemento a las*

- mediciones física-químicas*. Chile: Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas [CEAZA].
- Pacheco-Chaves, B. (2010). *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., et al. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos: Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21 (3-4), 115-133.
- Ramírez, A. (2010a). Métodos de recolección. *Revista Biología Tropical*, 58 (4), 41-50.
- Ramírez, A. (2010b). Odonata. *Revista Biología Tropical*, 58 (4), 97-136.
- Ramírez, A., y Pringle, C. M. (1998). Structure AND production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 14 (4), 443-463.
- Ramírez, A., Pringle, C. M., y Agüero, G. (1998). Effect of habitat type on benthic macroinvertebrates in two lowland tropical streams, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 46 (6), 201-213.
- Reyes Morales, E. M. F. (2012). *Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del lago Atitlán, Guatemala*. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
- Rivera, R. (2004). *Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos*. Tesis de Licenciatura. Venezuela: Universidad de los Andes.
- Roldán Pérez, G., y Ramírez Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2ª ed.). Medellín: Editorial Universidad de Antioquía.
- Roughley, R., y Solis, A. (s. f.). *Clave para la identificación de las familias de escarabajos acuáticos adultos en Centro América* [en línea]. Recuperado julio 30, 2017, de <http://www.inbio.ac.cr/papers/famacuat/famil.htm>
- Roy, A. y Homechaudhuri, S. (2017). Comparing diversity of freshwater macroinvertebrate community along habitat gradients within a riverine system in North Bengal, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5 (4), 86-93.

- Scullion, J., Parish, C. A., Morgan, N., y Edwards, R. W. (1982). Comparison of benthic macroinvertebrate fauna and substratum composition in riffles and pools in the impounded river Elan and de unregulated river Wye, mid-wales. *Freshwater Biology*, 12 (6), 579-595.
- Sepulcre Vidal, N. (2012). *Estudio de los macroinvertebrados acuáticos en ríos europeos de montaña en relación con las características del microhábitat*. Tesis de Grado. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- 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*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Sermeno 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 Odonata en El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Sermeno Chicas, J. M., Serrano Cervantes, L., Springer, M., Paniagua Cienfuegos, M. R., Pérez, D., Rivas Flores, A. W., ... 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 (IBF-SV-2010)*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Silva Passos, M. I., Nessimian, J. L., y Ferreira Junior, N. (2007). Chaves para identificação dos gêneros de Elmidae (Coleoptera) ocorrentes no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 51 (1), 42-53.
- Springer, M. (2010). Trichoptera. *Revista Biología Tropical*, 58 (4), 151-198.
- 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 El Salvador*. San Salvador, El Salvador: Editorial Universitaria UES.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y Museo de Historia Natural. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Lima, Perú: Zona Comunicaciones S.A.C.

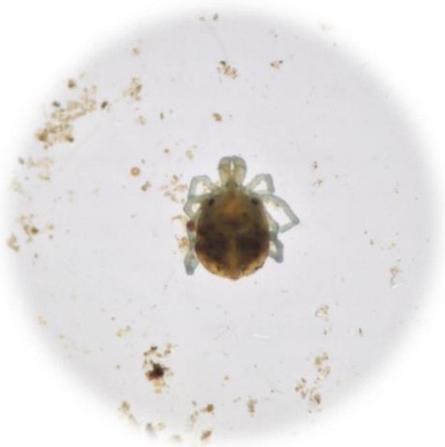
- Velásquez, S. M., y Miserendino, M. L. (2003). Análisis de la materia orgánica alóctona y organización funcional de macroinvertebrados en relación con el tipo de hábitat en ríos de montaña de Patagonia. *Ecología Austral*, 13, 67-82.
- Villamarín, C. P. (2008). *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú: Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos*. Tesis de Doctorado. España: Universidad de Barcelona.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., y Umaña, A. M. (2006). Métodos para el análisis de datos: Una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. En *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (pp. 185-226). Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Vinson, M. (2006). *Annotated guide to common aquatic invertebrates*. Logan, Utah, United States: Utah State University.

10. Anexo

Parámetro	Río La Labor		Río Tzununá	
1. Heterogeneidad de sustratos disponibles para la epifauna	17		16	
2. Empotramiento del sustrato	13		18	
3. Relación profundidad y velocidad	10		18	
4. Deposición de sedimentos	15		15	
5. Estado del cauce de flujo	8		8	
6. Alteración del cauce	19		19	
7. Frecuencia de rápidos	15		16	
8. Estabilidad de las Márgenes	5	5	9	9
9. Vegetación protectora de las riberas	8	8	7	7
10. Amplitud de la vegetación ribereña	7	7	7	7
Total	137		156	

Anexo 1. Boleta de protocolo de evaluación biológica rápida (RBP) para evaluación de hábitat

Album de macroinvertebrados encontrados



Orden Trombidiformes



Orden Tubificida



Orden Collembola



Orden Neophora
Familia Dugesiidae



Orden Diptera
Familia Blephacridae
Género *Aposonalco*



Orden Diptera
Familia Blephacridae
Género *Paltostoma*



Orden Diptera
Familia Ceratopogonidae
Género *Bezzia*



Orden Diptera
Familia Ceratopogonidae
Género *Probezzia*



Orden Diptera
Familia Ceratopogonidae
Género *Atrichopogon*



Orden Diptera
Familia Dixidae
Género *Dixella*



Orden Diptera
Familia Chironomidae
Subfamilia Orthocladiinae



Orden Diptera
Familia Chironomidae
Subfamilia Tanypodiinae



Orden Diptera
Familia Chironomidae
Subfamilia Chironominae
Tribu Chironomini



Orden Diptera
Familia Chironomidae
Subfamilia Chironominae
Tribu Tanytarsini



Orden Diptera
Familia Dolichopodidae



Orden Diptera
Familia Ephydriidae (pupa)



Orden Diptera
Familia Empididae
Género *Clinocera*



Orden Diptera
Familia Empididae
Género *Neoplasta*



Orden Diptera
Familia Muscidae



Orden Diptera
Familia Simuliidae
Género *Simulium*



Orden Diptera
Familia Psychodidae
Género *Psychoda*



Orden Diptera
Familia Psychodidae
Género *Maruina*



Orden Diptera
Familia Stratiomyidae



Orden Diptera
Familia Tipulidae



Orden Ephemeroptera
Familia Baetidae
Género *Baetis*



Orden Ephemeroptera
Familia Baetidae
Género *Americabaetis*



Orden Ephemeroptera
Familia Baetidae
Género *Baetodes*



Orden Ephemeroptera
Familia Baetidae
Género *Camelobaetidius*



Orden Ephemeroptera
Familia Baetidae
Género *Cloeodes*



Orden Ephemeroptera
Familia Baetidae
Género *Fallceon*



Orden Ephemeroptera
Familia Heptageniidae
Género *Epeorus*



Orden Ephemeroptera
Familia Leptohyphidae
Género *Leptohyphes*



Orden Ephemeroptera
Familia Leptohyphidae
Género *Tricorythodes*



Orden Ephemeroptera
Familia Leptophlebiidae
Género *Farrodes*



Orden Trichoptera
Familia Glossosomatidae
Género *Culoptila*



Orden Trichoptera
Familia Helicopsychidae
Género *Helicopsyche*



Orden Trichoptera
Familia Hydrobiosidae
Género *Atopsyche*



Orden Trichoptera
Familia Hydropsychidae
Género *Calosopsyche*



Orden Trichoptera
Familia Hydropsychidae
Género *Leptonema*



Orden Trichoptera
Familia Hydroptilidae
Género *Cerasmotrichia?*



Orden Trichoptera
Familia Hydroptilidae
Género *Hydroptila*



Orden Trichoptera
Familia Hydroptilidae
Género *Leucotrichia*



Orden Trichoptera
Familia Hydroptilidae
Género *Mayatrichia*



Orden Trichoptera
Familia Hydroptilidae
Género *Metrichia*



Orden Trichoptera
Familia Lepidostomatidae
Género *Lepidostoma*



Orden Trichoptera
Familia Leptoceridae
Género *Nectopsyche*



Orden Trichoptera
Familia Leptoceridae
Género *Oecetis*



Orden Trichoptera
Familia Leptoceridae
Género *Triaenodes*



Orden Trichoptera
Familia Philopotamidae
Género *Wormaldia*



Orden Trichoptera
Familia Polycentropodidae
Género *Cernotina*



Orden Trichoptera
Familia Polycentropodidae
Género *Cyrnellus*



Orden Coleoptera
Familia Dytiscidae



Orden Coleoptera
Familia Hydrophilidae





Orden Coleoptera
Familia Lampyridae



Orden Coleoptera
Familia Psephenidae
Género *Psephenus*



Orden Coleoptera
Familia Ptilodactylidae



Orden Coleoptera
Familia Scirtidae
Género *Scirtes*



Orden Coleoptera
Familia Staphilinidae



Orden Coleoptera
Familia Elmidae
Género *Phanocerus*



Orden Coleoptera
Familia Elmidae
Género *Cylloepus*



Orden Coleoptera
Familia Elmidae
Género *Mycrocylloepus*



Orden Coleoptera
Familia Elmidae
Género *Macrelmis*



Orden Coleoptera
Familia Elmidae
Género *Heterelmis*



Orden Hemiptera
Familia Belostomatidae
Género *Abedus*



Orden Hemiptera
Familia Naucoridae
Género *Cryphocricos*



Orden Hemiptera
Familia Gerridae
Género *Aquarius?*



Orden Hemiptera
Familia Hebridae
Género *Hebrus*



Orden Hemiptera
Familia Veliidae
Género *Rhagovelia*



Orden Hemiptera
Familia Veliidae
Género *Microvelia*



Orden Hemiptera
Familia Notonectidae
Género *Notonecta*



Orden Odonata
Familia Calopterygidae
Género *Hetaerina*



Orden Odonata
Familia Coenagrionidae
Género *Argia*



Orden Odonata
Familia Libellulidae



Orden Lepidoptera
Familia Crambidae
Género *Petrophila*

Anexo 2. Álbum fotográfico de los taxas encontrados en los ríos La Labor y Tzununá, Sololá, Guatemala