



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología, Ecología y Gestión

**Diversidad estructural y funcional de macroinvertebrados bentónicos de
riachuelos de páramo del Macizo del Cajas**

Trabajo de graduación previo a la obtención de título de
Biólogo con mención en Ecología y Gestión

Autor:

Christian Fernando Arízaga Peláez

Director:

Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo, MSc.

Cuenca – Ecuador

2021

Dedicatoria

Dedicado a mis padres, Jorge y Enma que me han brindado su apoyo incondicional.

A mis hermanos, John y Mateo por hacer de mis días más llevaderos y para que continúen por el camino del estudio.

Para mi esposa, Alicia que ha estado incondicionalmente a mí lado.

Y especialmente a Valentina que me da la chispa para mejorar día a día.

Agradecimiento

Agradezco a mi tutor Edwin Zárate por la paciencia y la confianza que puso en mí para la elaboración de este proyecto.

A mi gran amigo Paúl que me ha acompañado en las buenas y en las malas.

Y a todos los que en este proceso me han colaborado de alguna manera para poder mejorar, superar y entender de mejor manera la vida.

Índice de Contenidos

Contenidos

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Índice de Contenidos.....	4
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas	6
Resumen	7
Abstract	8
Capítulo I.....	9
Introducción	9
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos.....	11
Metodología	11
Área de estudio.....	11
Métodos.....	12
Análisis de Datos.....	14
Capitulo II	16
Resultados	16
Capitulo III.....	23
Discusiones	23
Conclusiones	25
Referencias.....	26
Anexos.....	31

Índice de Figuras

Figura 1.- Mapa del área de estudio del Área de Biosfera del Macizo del Cajas.....	12
Figura 2.- Fórmula para la obtención del Índice de Shannon-Wiener	15
Figura 3.- Abundancia total por género.....	16
Figura 4.- Porcentaje de la abundancia total por género.	16
Figura 5.- Curvas rango - abundancia de todas las estaciones.	17
Figura 6.- Índice de Shannon-Wiener por estaciones.....	18
Figura 7.- Porcentaje de la abundancia total de gremios tróficos.....	18
Figura 8.- Porcentaje de la abundancia trófica de todas las estaciones.	19
Figura 9.- Análisis cluster para todas las estaciones.	20
Figura 10.- Análisis de Componentes Principales (PCA) por estaciones y género.....	21
Figura 11.- Análisis de Componentes Principales (PCA) por estaciones y grupo trófico.....	21
Figura 12.- Análisis de Componentes Principales (PCA) por género y grupo trófico.	22
Figura 13.-Imágenes de los macroinvertebrados bentónicos identificados	33
Figura 14.- Imagen de trabajo en fase de laboratorio.....	34

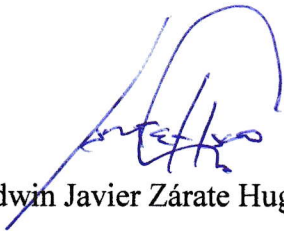
Índice de Tablas

Tabla 1.- Estaciones de muestreo con descripción y coordenadas geográficas.....	13
Tabla 2.- Abundancia total de las estaciones por Orden, Familia y Género.	31
Tabla 3.- Abundancia total por género y grupo trófico.	32
Tabla 4.- Índice de Shannon-Wiener.....	33

Resumen

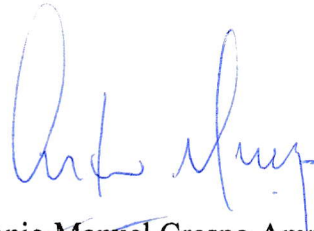
Estudiamos la diversidad y roles tróficos de macroinvertebrados bentónicos de siete riachuelos de páramo del Área de Biosfera del Macizo del Cajas; se clasificaron según el contenido estomacal en: Colector, Colector-raspador, Fragmentador, Generalista, Predador y Raspador. En la fase de campo se utilizó el método de pateo para la recolección de las muestras, en el laboratorio se realizó la identificación taxonómica y clasificación trófica. Identificamos un total de 6009 macroinvertebrados de 46 géneros, los más abundantes fueron Chironomidae sp y Hyalella, mientras que los gremios tróficos dominantes fueron los Generalistas con 29% y Colectores con 23%.

Palabras clave: Macroinvertebrados, taxonomía, gremio trófico, páramo, riachuelos.



Edwin Javier Zárate Hugo MSc

Director de Trabajo de Titulación



Antonio Manuel Crespo Ampudia PhD

Coordinador de Escuela




Christian Fernando Arízaga Peláez

Autor

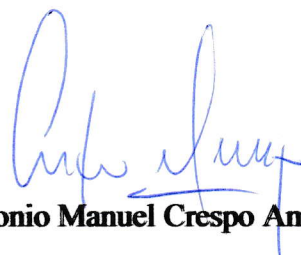
Abstract

This research carried out a study on the diversity and trophic roles of benthic macroinvertebrates from seven paramo streams at “El Cajas” Biosphere Area. The macroinvertebrates were classified according to the stomach content in: Collector, Collector-scraper, Fragmenter, Generalist, Predator and Scraper. In the field phase, the kick method was obtained to collect the samples, in the laboratory the taxonomic identification and trophic classification were carried out. A total of 6009 macroinvertebrates were identified from 46 genera. The most abundant were Chironomidae sp and Hyalella, while the dominant trophic guilds were Generalists with 29% and Collectors with 23%.


Keywords: Macroinvertebrates, taxonomy, trophic guild, paramo, streams.



Edwin Javier Zárate Hugo MSc
Thesis Director



Antonio Manuel Crespo Ampudia PhD
Faculty Coordinator



Christian Fernando Arízaga Peláez
Author

Translated by



Christian Arízaga

Capítulo I

Introducción

Los hábitats de agua dulce apenas cubren el 1% de la superficie de la tierra, a pesar de esto las especies en este medio presentan una diversidad mucho más alta en comparación con otros ecosistemas (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2008). Los ríos del trópico y región Andina albergan una biota muy rica, pero en gran parte desconocida, por ello se deben estudiar estos entornos enfocados en diversidad taxonómica y clasificación trófica para obtener modelos realistas de la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas tropicales; específicamente la información ecológica sobre especies tropicales de macroinvertebrados bentónicos es aún escasa (Tognelli, et al. 2016).

Según Chará-Serna, et al. (2010) la relación trófica que existe en una comunidad de macroinvertebrados bentónicos es importante en sus ciclos de vida, selección de su hábitat, comportamiento y predación. El estudio de cadenas tróficas indicaría el estado de conservación y la dinámica de un ecosistema desde un punto de vista funcional, debido a que analiza la presencia y abundancia reflejada en la capacidad que tienen los organismos para explotar una variedad de recursos (Caicedo y Palacio, 1998).

Para conocer la calidad ecológica en la que se encuentra un entorno se evalúa todo el ecosistema, en el caso del río, la vegetación de la ribera, características del canal y en especial el medio acuático donde se analizan las comunidades de macroinvertebrados; además de parámetros físico-químicos. Las condiciones ambientales físicas y químicas naturalmente pueden influenciar las características de los ecosistemas acuáticos, sin embargo, al darse el cambio de uso del suelo por la expansión urbana, actividades agrícolas e industriales, se crea tensión en el entorno y deterioro del ecosistema, provocando pérdida de diversidad y nuevas fuentes de contaminación. También se altera el flujo de materia y energía, lo que modifica el ciclo de nitrógeno y fósforo (Jorcín y Noguera, 2008.), además se pueden presentar microorganismos patógenos (Barbour, et al, 1999. Munné, 2003). Por otro lado, los fenómenos naturales dados por la época del año como inundaciones o sequías afectarían la presencia de organismos bentónicos (Senior, 2015).

La mayoría de macroinvertebrados acuáticos necesitan el oxígeno, que está disuelto en el agua, es fundamental que estos organismos presenten adaptaciones estructurales y fisiológicas que les permita respirar. Pero con las actividades antropogénicas muchos parámetros pueden ser afectados, entre los más importantes está el oxígeno, por lo tanto, los problemas de contaminación disminuyen los niveles de oxígeno en el agua, que son letales para la mayoría de organismos que allí habitan (Roldán, 2003).

Otras problemáticas son la extracción de altas cantidades de agua, drenar humedales, canalizar ríos, deforestación y forestación errónea, que llevan a la sedimentación; también la introducción de especies invasoras causan impactos en gran medida.

A partir del año 2000 se ha ampliado el estudio sobre macroinvertebrados bentónicos, se han adaptado índices bióticos para determinar el nivel de contaminación del agua, índices multi-métricos para la evaluación del estado de perturbación, sin embargo, en cuanto a taxonomía y clasificación trófica la investigación es escasa (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014).

El estudio realizado por Tomanova, et al. (2006) aporta gran información sobre grupos tróficos con sus respectivos taxones en ríos de los Andes. Las investigaciones buscan entender la alimentación de los macroinvertebrados bentónicos analizando el contenido estomacal y en base a los resultados determinar una estructura trófica, así lo explica Chará-Serna, et al. (2010) y Rivera, et al. (2013). Entre los pocos estudios que se han realizado podríamos citar a Rodríguez-Barrios, et al. (2011) que investigaron los gremios tróficos de macroinvertebrados en el río Gaira, Colombia, quienes pudieron constatar que predominaba Colector-recolector; y Ferru y Fierro (2015) se plantearon como objetivo establecer comunidades de macroinvertebrados y encontrar diferencias a través de los grupos tróficos en diferentes gradientes altitudinales.

En los ríos de Latinoamérica, los macroinvertebrados son uno de los grupos más diversos, por lo cual han tenido gran acogida para diversos estudios; sin embargo, la falta de información no permite un correcto manejo y conservación de las fuentes hídricas (Vinson y Hawkins, 2003; Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014); por lo que para contribuir al conocimiento de este importante grupo de fauna nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Cómo varía la diversidad taxonómica y de roles tróficos de las comunidades de macroinvertebrados en los riachuelos de páramo del Macizo del Cajas?.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de riachuelos del páramo del Macizo del Cajas.

Objetivos específicos

- Determinar características tróficas dentro de las comunidades de macroinvertebrados en relación con su gradiente altitudinal.
- Identificar las especies de macroinvertebrados a nivel de género.

Metodología

Área de estudio

El estudio se realizó dentro del Área de Biosfera del Macizo del Cajas (ABMC), con una extensión de 976600,92 hectáreas (Figura 1), sus límites son: al norte el Río Cañar, al sur el Río Jubones, al este el Golfo de Guayaquil y al oeste el Valle Interandino, sus ecosistemas varían conforme su altitud aumenta; desde el nivel del mar posee manglares, arbustal desértico y desierto, bosque semideciduo pasando por bosque premontano y montano, hasta llegar al páramo, su altura máxima es de 4450 msnm (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2017).

Posee gran diversidad de especies: destacan *Metallura baroni* o colibrí del Cajas, *Atlapetes pallidiceps* o matorralero cabecipálido, *Caenolestes tate* o ratón marsupial, además de anfibios y reptiles endémicos del Macizo; alberga 19 especies endémicas vegetales las cuales se han adaptado al frío y alta radiación solar. En el ABMC se encuentran gran cantidad de lagunas, la mayoría ubicadas en la zona de páramos y donde dan lugar al nacimiento de 113 cursos de agua los cuales se distribuyen en dos vertientes: la vertiente del Atlántico que ocupa el 26.62% del territorio del Macizo, conformada por las cuencas de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui, Machángara y Burgay, y la vertiente del Pacífico que ocupa el 73.38% del área conformada por las cuencas de los ríos Jubones, Cañar, Tenguel, Balao, Pagua, entre otros (Rodríguez, et al. 2014).

El estudio se concentró en el área de páramo, que se encuentra a lo largo de la cordillera de los Andes, entre el límite forestal superior y las nieves perpetuas (Hofstede, 2014), su bioma va desde los 3000 msnm hasta los 4300 msnm; en el Ecuador representa el 5% de

la superficie total y para el Macizo del Cajas representa el 23.39%; su vegetación en mayor medida es herbácea y de almohadillas con parches de bosque de *Polylepis*. Sus suelos poseen un gran potencial de retención de agua y almacenan gran cantidad de carbono. El clima está catalogado como húmedo y frío, la temperatura varía entre los 3 °C a 20 °C, tiene altos niveles de radiación solar y gran nubosidad (Hofstede, 2014; Rodríguez, et al., 2014; Llambí, 2015; MAE, 2018).

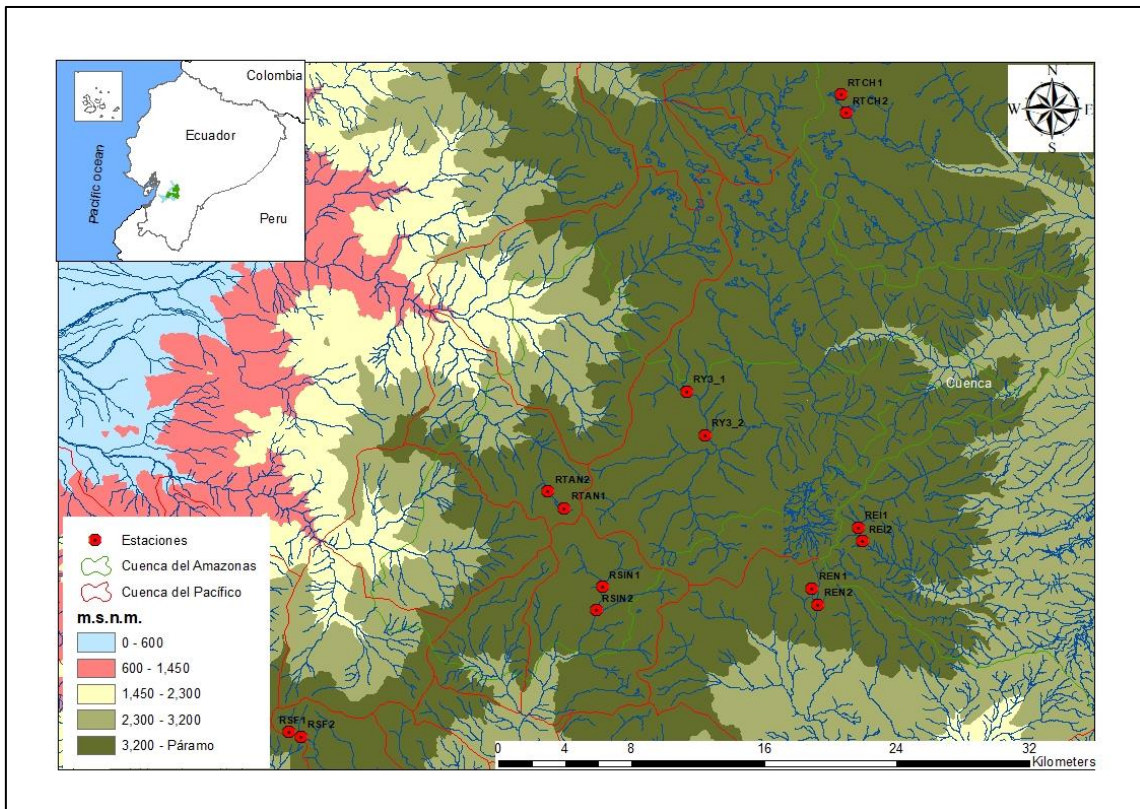


Figura 1.- Mapa del área de estudio del Área de Biosfera del Macizo del Cajas.

Se establecieron 14 estaciones de muestreo, en siete riachuelos de páramo, ubicados en microcuencas separadas. Se colocaron dos estaciones en cada riachuelo separada al menos dos kilómetros la una de la otra (Figura 1).

Métodos

Muestreo de macroinvertebrados

En cada punto de muestreo se delimitó un tramo de 50 m del largo (Tabla 1). Para la colecta de muestras de los macroinvertebrados se usó una red de mano de 40 x 25 cm, con ojo de malla menor a 0.5 mm, aplicando una técnica denominada de pateo, la cual consiste en remover el sustrato del río para desprender a los macroinvertebrados, mientras se coloca la red de mano para que la corriente del agua los arrastre a esta. Este

proceso se realizó por tres minutos, tratando de abarcar todos los hábitats fluviales presentes en los tramos establecidos. El contenido recolectado en las redes se depositó en bandejas y los macroinvertebrados bentónicos fueron atrapados en campo usando pinzas; todos los individuos fueron recolectados en frascos con alcohol potable al 90% (Rincón, et al, 2016); los frascos fueron debidamente etiquetados y colocados en hieleras para transportarlos y posteriormente identificarlos en el laboratorio de Limnología de la Universidad del Azuay.

Tabla 1.- Estaciones de muestreo con descripción y coordenadas geográficas.

Código	Descripción	Coordenadas	
		X	Y
REI 1	Quimsacocha final del proyecto - Derecha	698806	9663976
REI 2	Quimsacocha final del proyecto - Derecha	699055	9663157
REN 1	Quimsacocha vía - Izquierda	696022	9660295
REN 2	Quimsacocha vía - Izquierda	696364	9659314
RSF 1	Río San Francisco - Caballo potrero - Pucará	664425	9651620
RSF 2	Río San Francisco - Caballo potrero - Pucará	665165	9651337
RSIN 1	Por San Fernando - Pedernales	683352	9660386
RSIN 2	Por San Fernando - Pedernales	682967	9658969
RTAN 1	Cercano a Pimo - Planicie	681051	9665139
RTAN 2	Cercano a Pimo - Planicie	680077	9666165
RTCH 1	Taitachugo - Portada de burines	697783	9690130
RTCH 2	Taitachugo - Portada de burines	698083	9689015
RY3_1	Río Yanuncay (Quebrada Quinsachogollo Zona alta)	688432	9672187
RY3_2	Río Yanuncay (Quebrada Quinsachogollo Zona alta)	689548	9669552

Identificación taxonómica

Los macroinvertebrados fueron identificados taxonómicamente a nivel de género, mediante un estéreo-microscopio y usando las guías de identificación de macroinvertebrados bentónicos de Domínguez y Fernández (2009) y Rincón et al. (2016). Al igual que en otros estudios y guías de estudio de ecología e índices de integridad de ecosistemas acuáticos basados en macroinvertebrados, los grupos Oligoqueta y Chironomidae no fueron identificados a nivel de género, debido a lo complicado de su taxonomía (Tomanova, et al. 2006, Chará-Serna, et al, 2010).

Roles tróficos

Dentro de los ecosistemas acuáticos los invertebrados tienen la función de transferir la energía de los productores primarios a niveles tróficos superiores, siendo su principal fuente de alimento invertebrados, microalgas o plantas vasculares y detritos. Para

identificar el grupo trófico al que pertenecen los macroinvertebrados se utilizó la información obtenida previamente por Padrón Pesantez (2019), mediante la técnica de transparentar a los macroinvertebrados (Vargas y Mejía, 2007), y la clasificación utilizada fue establecida por Chará-Serna, et al. (2010) y Tomanova, et al., (2006), que clasifican a los invertebrados según el contenido estomacal, de la siguiente manera:

Colectores: serán los que tengan igual o más del 65% de materia orgánica particulada fina (MOPF).

Colectores-raspadores: quienes consuman algas y residuos de materia vegetal o MOPF.

Fragmentadores: los consumidores que tengan materia orgánica particulada gruesa (MOPG) en cantidades mayores o igual a 35%.

Generalistas: serán aquellos organismos que se les asigne más de un nivel trófico.

Predadores: quienes han consumido tejido animal mayor a 35%.

Raspadores: los que han consumido algas en porcentaje mayor o igual a 35%.

Análisis de Datos

Diversidad Alfa

Analizamos la diversidad alfa, que se define como el número de especies que existen en un área determinada y homogénea. Esta fue determinada en cada punto de muestreo establecido en los riachuelos a través de las siguientes métricas: la riqueza que corresponde al número de géneros de macroinvertebrados encontrados en cada estación de muestreo, y la abundancia, donde se contabilizó el número total de individuos de cada taxón de la muestra (Bravo, 2014). Los datos fueron analizados usando el paquete *BiodiversityR* (Kindt y Coe, 2005) de Rstudio (R Core Team, 2020).

Curvas de rango-abundancia

Es un método gráfico que coloca en orden jerárquico de izquierda a derecha al total de las especies de cada estación, empezando por la de mayor abundancia (Barrientos, et al., 2016).

Índice de Shannon-Wiener

Este índice expresa la heterogeneidad tomando en cuenta la riqueza de especies y su abundancia relativa; los valores pueden variar de cero a cinco, donde los valores más

altos representan hábitats con mayor diversidad y los valores bajos reflejan poca diversidad (Pla, 2006). Donde:

H= índice de diversidad de Shannon-Wiener

ni= número de individuos por especie

n= número total de individuos

ln= logaritmo natural

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{ni}{n} \right) \ln(ni/n)$$

Figura 2.- Fórmula para la obtención del Índice de Shannon-Wiener

Diversidad Beta

Es el cambio de especies que existe dentro de los diferentes ecosistemas en una gradiente geográfica o ambiental determinada (Bravo, 2014).

Análisis Cluster

Es un método analítico multivariado que reduce grandes cantidades de información en grupos pequeños (cluster), donde los miembros de cada cluster posee características similares; es considerada una técnica exploratoria, debido a que la clasificación que realiza no conlleva ningún modelo estadístico, considerándose una técnica óptima para condensar información de una base de datos sin inconvenientes de modelos estadísticos (Castro et al., 2012). Para este análisis se utilizaron los siguientes paquetes del software R: "tidyverse", "cluster", "factoextra", "NbClust", "tidyr" (Charrad, 2014; Wickham, et al., 2019; Maechler, et al., 2019; Kassambara y Mundt, 2020; Wickham, 2020).

Análisis de componentes principales (PCA)

Forma parte del análisis exploratorio para extraer información de un número de variables que nos interesa conocer, es decir, reduce la dimensionalidad, de esta forma se reduce la pérdida de información; los componentes principales que se generen por PCA serán combinaciones lineales de las variables iniciales, además de ser independientes y no poseerán correlación entre sí (Abdi, et al., 2010). Este análisis fue realizado mediante el paquete "factoextra" de R (Kassambara, 2020).

Capítulo II

Resultados

Como resultado de la recolección de los macroinvertebrados se identificaron un total de 6009 individuos, pertenecientes a 13 Ordenes, 35 Familias y 46 Géneros; los más abundantes fueron individuos de la Familia Chironomidae con 1204 individuos, que constituyen el 20% del total colectado; seguido de individuos del género *Hyaella* (Familia Hyalellidae) con 1053 individuos, que aportan el 18% (Figura 3 y Figura 4).



Figura 3.- Abundancia total por género.

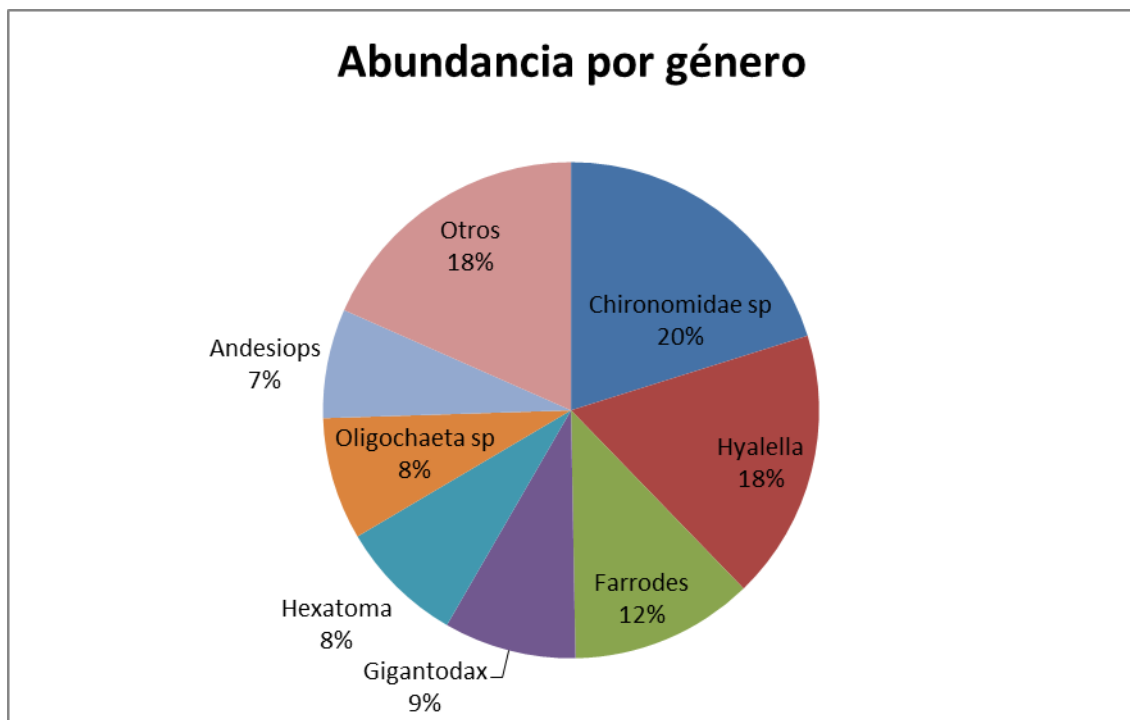


Figura 4.- Porcentaje de la abundancia total por género.

Curvas rango abundancia

La estación más representativa fue RTAN 1 con 27 taxas, donde *Hyalella* fue el dominante; seguido de RSF 2 con 21 géneros, el más abundante fue *Andesiops*, y REI 2 con 21 taxas donde dominó Chironomidae sp. El menor rango fue RTCH 2 con 13 géneros y fue dominado por *Hexatoma*. (Figura 5).

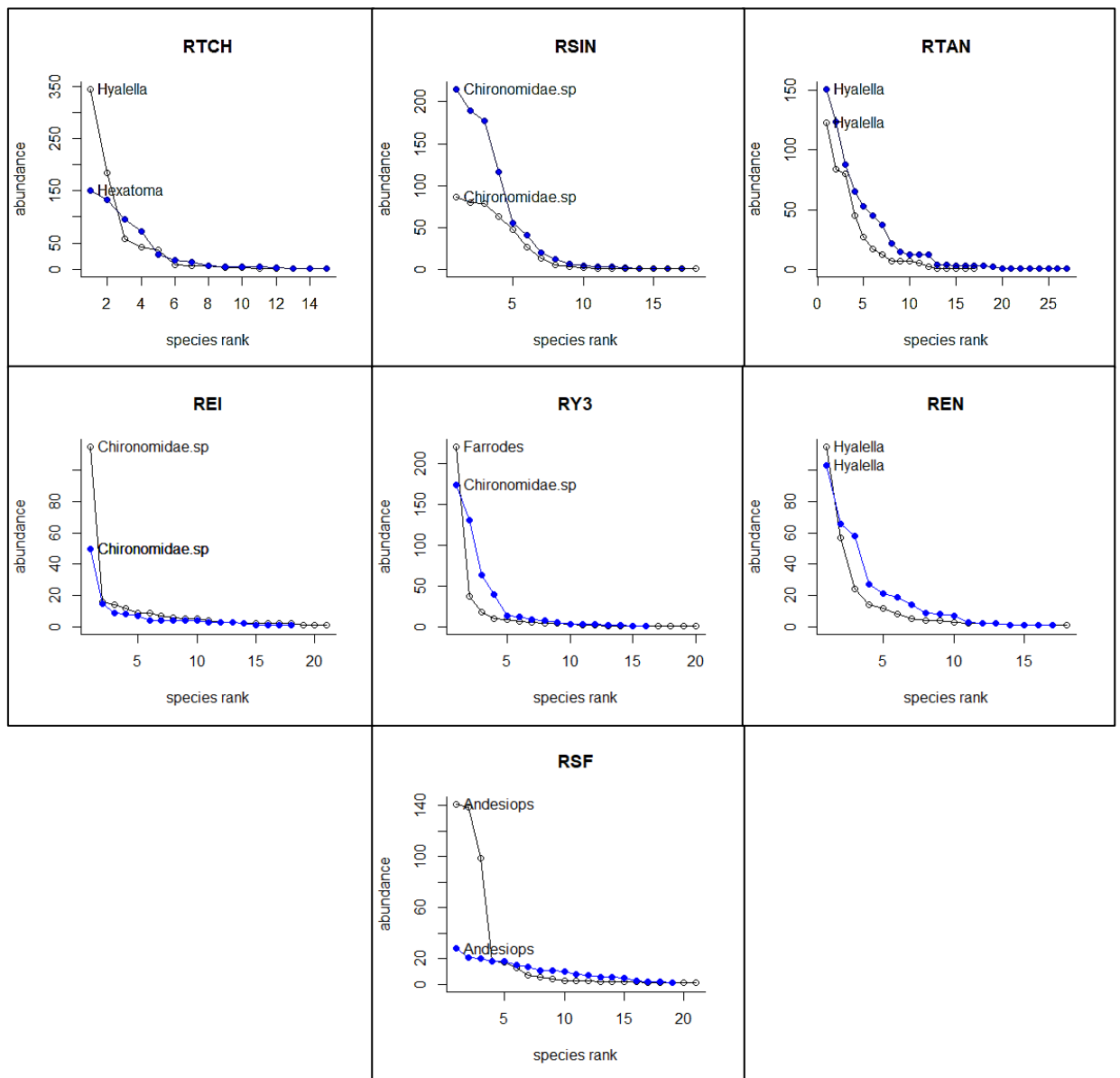


Figura 5.- Curvas rango - abundancia de todas las estaciones. *Todas las figuras están representadas por líneas azules para las estaciones 1 y por líneas negras para las estaciones 2.

El índice de Shannon-Wiener presenta los valores más significativos en las estaciones RSF 1 con 2.7, RTAN 1 con 2.4 y REI 1 con 2.2, mientras que el valor más bajo fue en RY3 2 con 1.4 (Figura 6 y Tabla 4).

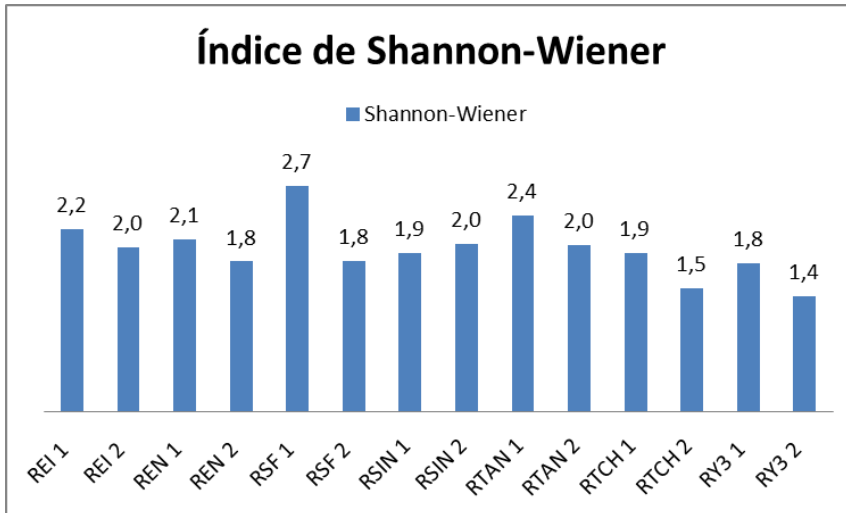


Figura 6.- Índice de Shannon-Wiener por estaciones.

Gremios tróficos

En el análisis general integrando todas las estaciones, el gremio trófico más abundante fue Generalista con 1746 individuos, que representa el 29% del total de las muestras colectadas, seguido de Colector con 23%, en tercer lugar Raspador con 18%; luego Colector-raspador con 16%, mientras que el menos abundante es el Predador con 5% (Figura 7).

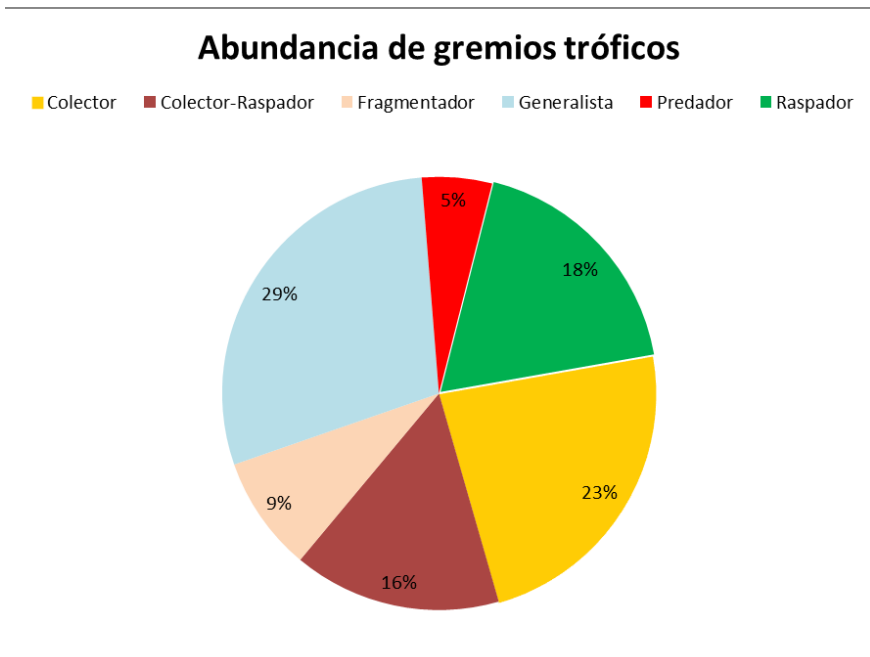


Figura 7.- Porcentaje de la abundancia total de gremios tróficos.

La siguiente figura muestra la diferencia que existe en la composición de roles tróficos en las estaciones de cada río, así, el gremio Generalista dominó en las estaciones RTAN 1, REI 1, REI 2, RSF 2 y RSIN 1; mientras tanto, el gremio Colector-raspador solo dominó en la estación de RY3 2 (Figura 8).

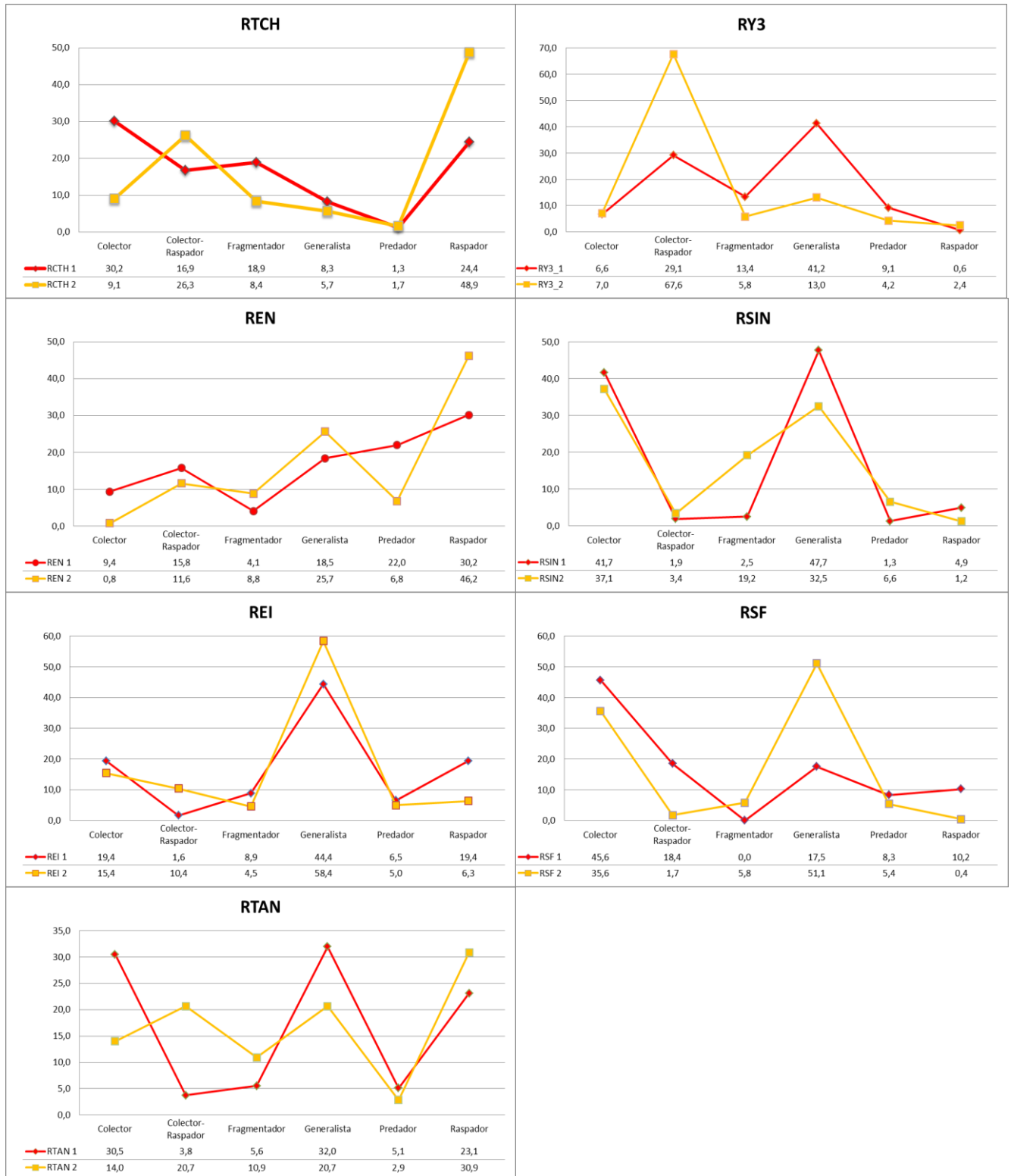


Figura 8.- Porcentaje de la abundancia trófica de todas las estaciones.

Diversidad Beta

Análisis Cluster

El análisis cluster muestra un total de cinco grupos. Llama la atención la estación RTAN 1 que se mantiene como grupo aislado, es decir, que presenta poca similitud con el resto de estaciones, incluyendo la estación del mismo río. Por otro lado cada estación puede ser considerada como independiente, excepto las estaciones REI del río, ya que formaron grupos independientes y no guardaron relación con el río (Figura 9).

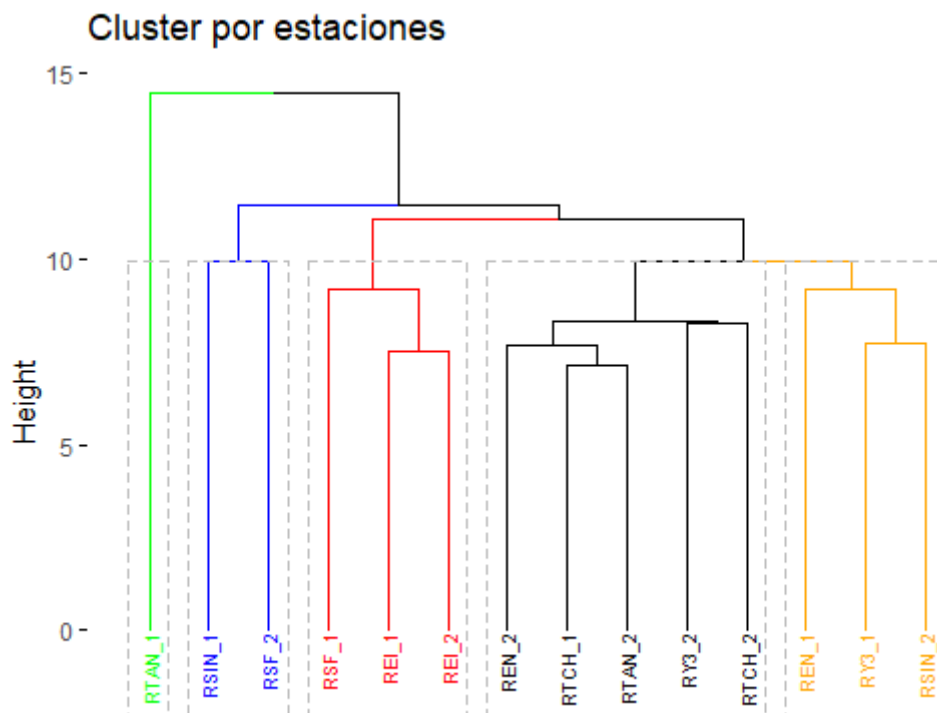


Figura 9.- Análisis cluster para todas las estaciones.

Análisis de componentes principales (PCA)

EL PCA muestra como resultado que las estaciones RSF 1, RSF 2, RSIN 1, RSIN 2, REI 1, REI 2, RY3 1 tienen mayor afinidad a *Chironomidae sp*, seguido de *Andesiops*, *Gigantodax* y *Hexatoma*; mientras que las estaciones RTAN 1, RTAN 2, RTCH 1, RTCH 2, REN 1, REN 2 y RY3 2 tienen más afinidad a *Hyaella*, seguido de *Farrodes*, *Atopsyche* y *Oligochaeta sp* (Figura 10).

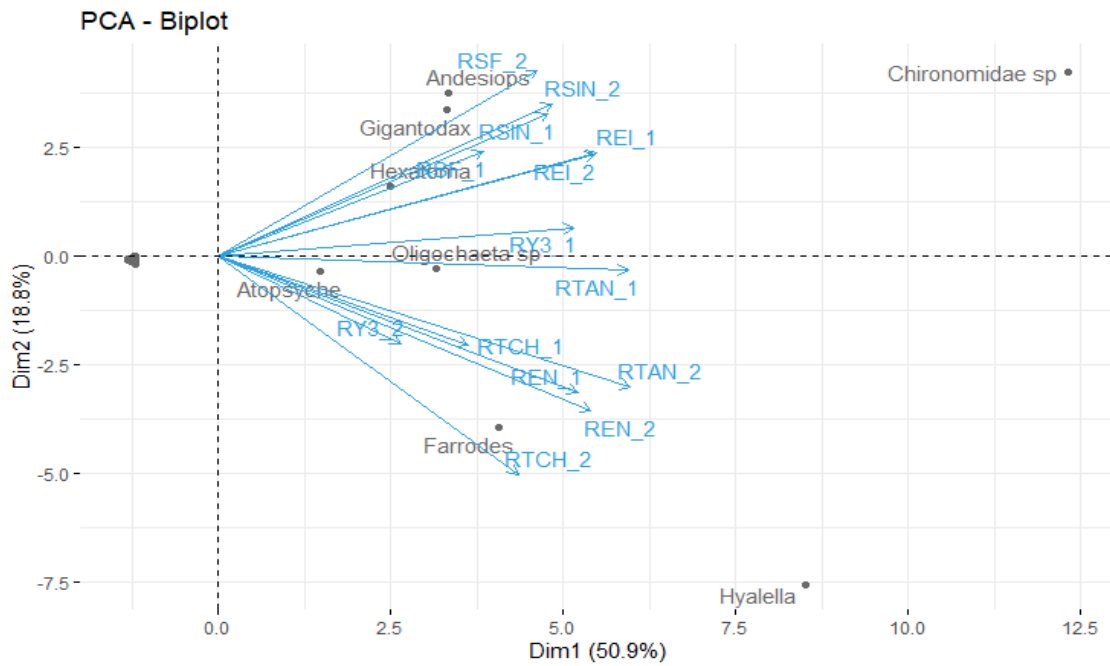


Figura 10.- Análisis de Componentes Principales (PCA) por estaciones y género.

El análisis de los siguientes PCA indican una separación de tres grupos bien definidos, las estaciones RTCH 1, RTCH 2 y RTAN 2 están ligados a grupos tróficos de Fragmentador, Raspador y Colector-raspador, los puntos RSIN 1, RSN 2 y RTAN 1 están relacionados con Colector y Generalista; las estaciones RSF 1, RSF 2, REN1, REN 2, REI 1, REI 2, RY3 1, RY3 2 tienen más relación con el grupo trófico Predador. Para ambos casos Predador es un grupo separado de los demás y el grupo Colector tiene una tendencia positiva (Figura 11 y Figura 12).

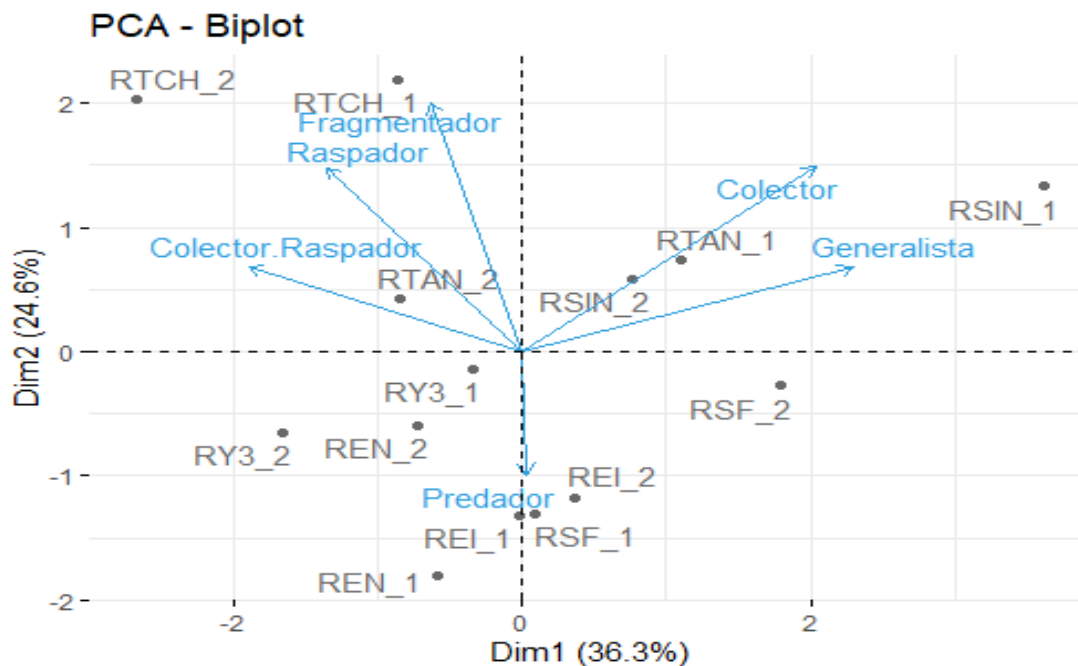


Figura 11.- Análisis de Componentes Principales (PCA) por estaciones y grupo trófico.

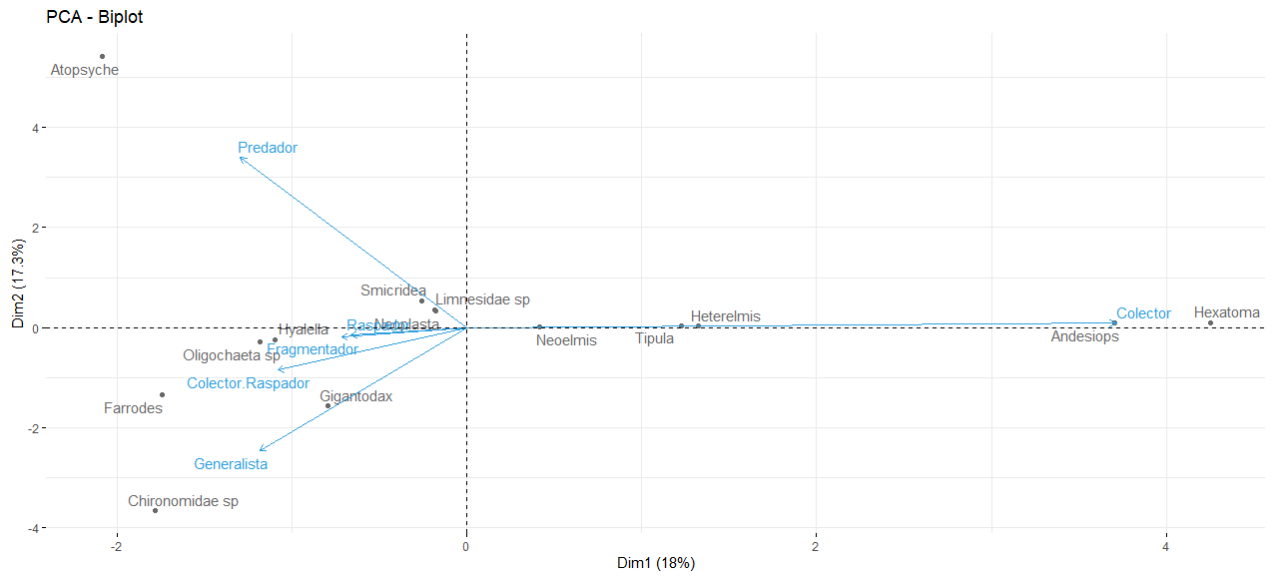


Figura 12.- Análisis de Componentes Principales (PCA) por género y grupo trófico.

Capítulo III

Discusiones

Se identificaron 6009 individuos de macroinvertebrados pertenecientes a 13 Órdenes, 35 Familias, 46 Géneros, en 14 estaciones de muestreo pertenecientes a siete riachuelos de páramo. La diversidad encontrada es relativamente similar a otros estudios realizados en riachuelos de páramo de orden 1 a 3. Por ejemplo: Rivera, et al. (2013) obtuvieron 10 órdenes, 27 familias, 26 géneros con 6403 especímenes, en 7 estaciones de muestreo. De igual manera Chará-Serna et al. (2010), en el río la Vieja del Valle del Cauca en Colombia, identificó un total de 2019 individuos, pertenecientes a 52 familias y 71 géneros en ocho quebradas.

El grupo dominante fue Chironomidae *sp.* con un 20%, presenta mayor abundancia en cinco de las estaciones RY3 1, RSIN 1, RSIN 2, REI 1, REI 2; esta familia de la clase díptera es un Colector, su abundancia puede deberse a los altos contenidos de materia orgánica particulada fina (MOPF) y materia en descomposición, lo que sugiere que en las estaciones donde es más abundante podrían estar afectadas por procesos de erosión o contaminación orgánica (Roldán, 2003; Rivera et al., 2013; Londoño, et al., 2017).

Este porcentaje demuestra la importancia de los macroinvertebrados en los ciclos tróficos y el procesamiento de MOPF, relacionándose con un estudio en Chile realizado por Ferru y Fierro (2015), también con otros estudios hechos en Colombia de Rodríguez-Barrios et al. (2010) y Chará-Serna, et.al. (2010) que reportan datos similares dando como resultado el género más abundante Chironomidae *sp.*

El segundo género más abundante fue *Hyalella* con 18%, dominó en las estaciones RTAN 1, RTAN 2, RSIN 1, RSIN 2 y RTCH 2, esto podría estar relacionado a que en la temporada lluviosa aumenta la oxigenación y al hecho de que sus aguas estarían poco contaminadas (Conzonno, 1996; Farias, et al, 2018).

El índice de Shannon-Wiener indicó que los valores más altos estuvieron en los puntos RY3 1, RTAN 1, REI 1, REN 1, RTCH 1, RSF 1 (Figura 6), estos resultados podrían estar relacionados al hecho de que las estaciones “1” están en la parte alta de las quebradas, es decir, son riachuelos de orden 1 y 2, posiblemente con aguas más limpias; mientras que las estaciones “2” que se encontraban aguas debajo de las estaciones “1” pertenecían a riachuelos de orden 2 y 3; que a pesar de contar con más variedad de

hábitats (Rodríguez-Barrios et al., 2010), posiblemente factores como mayor caudal o presencia de más cantidad de erosión y materia orgánica podría afectar los valores de diversidad.

En este estudio los gremios tróficos dominantes fueron Generalistas con 29%, seguido de Colectores con 23% y posteriormente, Raspadores con 18% (Figura 7). Estos resultados sugieren que existe más MOPF, como es el caso de las estaciones RTCH 1, RSF1 y RSIN 2 (Figura 8), esto explicaría la presencia relativamente alta de los Colectores (Figura 7). Además en las estaciones RTCH 2, RTAN 2, REN 1 y REN 2 (Figura 8) la cantidad de Raspadores que existen podría deberse a la abundancia de algas perifíticas que son su fuente de alimento, lo que sugiere que las fuentes de agua están relativamente bien iluminadas y existe producción primaria importante.

Los Fragmentadores alcanzaron el 9%, lo que puede deberse a una baja cantidad de presencia de MOPG por la escasa cobertura boscosa que existe en el páramo, es decir, la escasez de MOPG disminuye la probabilidad de encontrar Fragmentadores en estos entornos (Chará-Serna, et al., 2010; Palma *et al.*, 2013; Ferru y Fierro, 2015).

El valor alto de los Generalistas, 29% del total de los individuos, los constituyen en el grupo más abundante. Esto podría explicarse por la variedad en la dieta de los macroinvertebrados para disminuir la competencia entre su misma especie u otros individuos; los macroinvertebrados al igual que otros organismos han buscado la manera de sobrevivir teniendo una dieta variada (Tomanova, et al., 2006).

El alto porcentaje de Colectores (23%) puede estar relacionado al tipo de vegetación en la ribera de los ríos, específicamente son dominantes las especies vegetales de tipo herbáceo, lo que los abastecería de MOPF (Miserendino & Pizzolon, 2003; Tomanova, et al., 2007; Chará-Serna, et al., 2010).

La MOPF y la estrategia de una baja movilidad para alimentarse, les permitiría a los Colectores tener un menor arrastre por la escorrentía y de esta forma ser representativo en un hábitat; además en los análisis de PCA (Figura 11 y Figura 12) se observa que los Colectores tienen una tendencia positiva (Eguiguren, 2014; Tomanova, 2006).

Analizando la riqueza taxonómica por grupo trófico (Tabla 4), los Predadores fueron los de mayor riqueza, presentando 14 géneros, seguido de Colectores con 12 géneros,

mientras que el de menor riqueza fue el grupo de Raspadores con 3 géneros, estos resultados pueden estar influenciados por la época del año; de igual manera, Ferru y Fierro (2015) encontraron en sus estudios que el gremio de los Predadores posee mayor riqueza y Rodríguez-Barrios, et al. (2010) explica que los Predadores aumentan al inicio y al final de la temporada seca.

Conclusiones

Los ríos estudiados demostraron características similares en cuanto a diversidad taxonómica, lo que significaría que sus ecosistemas están equilibrados. Las taxas más sobresalientes fueron Chironomidae *sp* y *Hyaella*.

Podemos mencionar que Chironomidae *sp* es Colector y Generalista, dominó con el 20% de abundancia total en cinco de las estaciones, también el hecho de poder tolerar contaminantes les da ventaja sobre otros individuos. El género *Hyaella* con el 18% de abundancia total en cinco de las estaciones demuestra que los riachuelos de páramo se mantienen en buenas condiciones ambientales.

Tanto Chironomidae *sp* como *Gigantodax* y *Stilobezzia* también poseen dos grupos tróficos. Muchas otras taxas de macroinvertebrados han desarrollado una amplia plasticidad al momento de alimentarse, por lo que pueden ocupar varios niveles tróficos, por lo que se podría aumentar en base a revisión bibliográfica de ríos y riachuelos de páramos del Ecuador a otros macroinvertebrados que posean más de un grupo trófico.

Los porcentajes obtenidos de Generalistas con 29%, Colectores con 23% y Raspadores con 18% demuestra la importancia de la MOPF en los ríos de páramo para consumo de los macroinvertebrados.

Se recomienda estudiar a mayor profundidad las relaciones ecológicas de los macroinvertebrados bentónicos y profundizar en la identificación taxonómica y la determinación de los grupos tróficos de algunos taxones como los de la Familia Chironomidae.

Referencias

- Abdi, H., Williams, L. J. (2010). "Principal Component Analysis." John Wiley and Sons, Inc. WIREs Comp Stat 2: 433-59. <http://staff.ustc.edu.cn/~zwp/teach/MVA/abdi-awPCA2010.pdf>.
- Barrientos, R., Leirana, J., & Navarro, J. (2016). Métodos gráficos para la exploración de patrones de diversidad en Ecología. *Bioagrobiencias*, 9(2), 11-18
- Bravo V., E. (2014). La biodiversidad en el Ecuador. Cuenca: Editorial Universitaria Abya-Yala
- Castro Heredia, L. M., y Carvajal Escobar, Y. y Ávila Díaz, Á. J. (2012). ANÁLISIS CLÚSTER COMO TÉCNICA DE ANÁLISIS EXPLORATORIO DE REGISTROS MÚLTIPLES EN DATOS METEOROLÓGICOS. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (11), 11-20. [Fecha de Consulta 1 de Marzo de 2021]. ISSN: 1692-9918. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2311/231125817001>
- Chará-Serna, A., Chará, J., Zúñiga, M., Pedraza, G. y Giraldo, L. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*. 15(1),27. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc15-1.tcoa>
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., Niknafs, A. (2014). NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set. *Journal of Statistical Software*, 61(6), 1-36. URL <http://www.jstatsoft.org/v61/i06/>.
- Comité Promotor para la nominación ante UNESCO (2012). Propuesta para la Declaratoria de la Reserva de Biosfera en el Macizo del Cajas. Ministerio del Ambiente. Ministerio de Relaciones Exteriores Comercio e Integración, SENPLADES, Municipalidad de Cuenca. ETAPA, GIZ, Naturaleza y Cultura Internacional.
- Conzonno, V. (1996). Sustancias húmicas solubles presentes en ambientes acuáticos. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Eguiguren Burneo, A. (2014). Trophic variability of stream macroinvertebrates along an altitudinal gradient and among size groups in the Oyacachi River Basin. [Tesis de grado]. Universidad San Francisco de Quito.

- Farías Chiquillo, A., Gutiérrez González, J., y Longo, M. (2018). Roles tróficos y biomasa de *Hyalella* sp., *Martiodrilus ecuadoriensis* y *Drilocrius iheringi* en una laguna del páramo. Sumapaz, Colombia. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Ferru, M., y Fierro, P. (2015). Estructura de macroinvertebrados acuáticos y grupos funcionales tróficos en la cuenca del río Lluta, desierto de Atacama, Arica y Parinacota, Chile. *Idesia (Arica)*, 33(4), 47–54. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292015000400007>
- Habit, E., K. Górski, D. Alò, E. Ascencio, A. Astorga, N. Colin, T. Contador, P. de los Ríos, V. Delgado, C. Dorador, P. Fierro, K. García, O. Parra, C. Quezada- Romegialli, B. Ried, P. Rivera, C. Soto-Azat, C. Valdovinos, I. Vera-Escalona, S. Woelfl (2019). Biodiversidad de Ecosistemas de Agua Dulce. Mesa Biodiversidad-Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. 64 páginas. (16) (PDF) *Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/339913107_Biodiversidad_de_ecosistemas_de_agua_dulce [accessed Dec 10 2020].
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa J., Vásquez A., y Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- Kassambara, A., Mundt, F. (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Llambí, L. D. (2015). Estructura, Diversidad Y Dinámica De La Vegetación En El Ecotono Bosque-Páramo: Revisión De La Evidencia En La Cordillera De Mérida. *Acta Biológica Colombiana*, 20, 5–19. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.46721>
- Londoño, Y., Moreno, D., y Suárez, O. (2017). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad de agua en tres quebradas de alta montaña de Antioquia, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana. 109 pp.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K. (2019). Cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.0.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), Equipo Técnico Interinstitucional, GIZ. (2017). Plan de Gestión del Área de Biosfera Macizo del Cajas. Un territorio para el ser humano, la producción y la conservación Cuenca.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), Equipo Técnico Interinstitucional, INSIGMA. (2018). Actualización del Plan de Manejo del Parque Nacional Cajas. Documento Final. Quito, Ecuador.
- Miserendino, M. L., & Pizzolon, L. A. (2003). Distribution of macroinvertebrate assemblages in the Azul Quemquemtreu river basin, Patagonia, Argentina. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37(3), 525–539. <https://doi.org/10.1080/00288330.2003.9517187>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España. M&T–Manuales y Tesis SEA. 84 p
- Padrón-Pesantez, C. (2019). Determinación de gremios tróficos de macroinvertebrados en riachuelos del páramo del Macizo del Cajas, Azuay-Ecuador. Universidad del Azuay. 66 pp.
- Palma, A., González-Barrientos, J., Reyes, C. A., & Ramos-Jiliberto, R. (2013). Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y mediterránea-norte de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 86(1), 1–14. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2013000100001>
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590. Recuperado en 02 de marzo de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008&lng=es&tlng=es.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Ramírez, A., Gutiérrez-Fonseca, P.E. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Revista Biología Tropical*. Vol. 62 (Suppl. 2): 9-20

- Rincón, J., Merchán, D., Rojas, D., Sparer, A. y Zárate, E. (2016). Los Macroinvertebrados acuáticos de los ríos del Parque Nacional Cajas. Universidad del Azuay. Cuenca
- Ríos Touma, B., Encalada, A. C., & Fornells, N. P. (2009). Leaf Litter Dynamics and Its Use by Invertebrates in a High-Altitude Tropical Andean Stream. *International Review of Hydrobiology*, 94(4), 357–371. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811161>
- Rivera Usme, J. J., Pinilla Agudelo, G., y Camacho Pinzón, D. L. (2013). GRUPOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN UN HUMEDAL URBANO ANDINO DE COLOMBIA. *Acta Biológica Colombiana*, 18 (2), 279-292. [Fecha de Consulta 29 de Junio de 2021]. ISSN: 0120-548X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028011005>
- Rivero Suguiura, F. O. (2015). Análisis y Clasificación de los Municipios del Departamento de La Paz mediante Escalamiento Multidimensional y Análisis Cluster. *Revista Varianza* [online], n.11 [citado 2021-03-02], pp. 43-49. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S9876-67892015000100009&lng=es&nrm=iso. ISSN 9876-6789.
- Rodríguez, S., Rodas, F., Schubert, A. y Vasco, S. (2014). Área de Biosfera Macizo del Cajas, Experiencias de Desarrollo Sostenible para el Buen Vivir. ETAPA EP, Municipio de Cuenca, Ministerio del Ambiente, SENPLADES, Ministerio de Relaciones Exteriores, Cooperación Alemana GIZ, Naturaleza y Cultura Internacional. Cuenca, Ecuador.
- Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Tórres, R., & Turizo-Correa, R. (2010). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i4.3418>
- Roldán Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia Uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&source=gbs_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Senior Galindo, W. (2015). Calidad de las aguas. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

- Tognelli, M.F., Lasso, C.A., Bota-Sierra, C.A., Jiménez-Segur, L.F. y Cox, N.A. (2016). Estado de Conservación y Distribución de la Biodiversidad de Agua Dulce en los Andes Tropicales. Gland, Suiza, Cambridge, UK y Arlington, USA: UICN. xii + 199 pp.
- Tomanova, S., Goitia, E. y Helešic, J. (2006). Trophic Levels and Functional Feeding Groups of Macroinvertebrates in Neotropical Streams. *Hydrobiologia* 556, 251–264. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1255-5>
- Tomanova, S., Tedesco, P. A., Campero, M., Van Damme, P. A., Moya, N., & Oberdorff, T. (2007). Longitudinal and altitudinal changes of macroinvertebrate functional feeding groups in neotropical streams: a test of the River Continuum Concept. *Fundamental and Applied Limnology: Official Journal of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, 170(3), 233–241
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2008). La biodiversidad de agua dulce – Un recurso escondido y amenazado. UICN.
- Wickham et al., (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686, <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Wickham, H. (2020). tidy: Tidy Messy Data. R package version 1.1.2. <https://CRAN.R-project.org/package=tidy>

Anexos

Tabla 2.- Abundancia total de las estaciones por Orden, Familia y Género.

Orden	Familia	Género	RY3 1	RTAN 1	RSIN 1	REI 1	REN 1	RTCH 1	RSF 1	RY3 2	RTAN 2	RSIN 2	REI 2	REN 2	RTCH 2	RSF 2	
Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i>	3	151	41	9	103	132	11	7	123	5	9	115	344		
Arhynchobdellida	Arhynchobdellida	<i>Arhynchobdellida sp</i>			1	3		7		1	1			12		2	
		<i>Austrolimnius</i>	2			2	9		6	1		1	7				
		<i>Heterelmis</i>	13	53	3	4	21	5	18	6	17	1	5			8	2
Coleoptera	Elmidae	<i>Neoelmis</i>	2	45							5						1
		<i>Cyphon</i>	2	12	2		2	4	6		7	1	2	1	4		
		<i>Prionocyphon</i>									1						
Coleoptera	Psophenidae	<i>Psephenus</i>				3					1	2					
		Staphylinidae	<i>Staphylinidae sp</i>		1					1							
			<i>Chelifera</i>					1			1		1				
Coleoptera	Empididae	<i>Neoplasta</i>		1	3		1		2	1						6	
		Chironomidae	<i>Chironomidae sp</i>	174	124	215	50	58	17	15	37	80	86	115	57	37	139
			<i>Clogmia</i>		3							1					
Diptera	Simuliidae	<i>Gigantodax</i>	8	88	190	4	3	28	21	4	7	47	12	2	3	99	
		<i>Hexatoma</i>		1	177	4		151	18	4	1	63	14		42	13	
		Tipulidae	<i>Limonia</i>											1	1	1	7
<i>Tipula</i>			12	116	4			3	2	1	3		1		3		
Diptera	Blephariceridae	<i>Limonicola</i>										2					
		<i>Lispe</i>		4													
		Muscidae	<i>Muscidae sp</i>			1											
<i>Stilobezzia</i>	12		1		1	2			2		1	2	5				
Diptera	Tabanidae	<i>Tabanus</i>		1		1			2								
		<i>Andesiops</i>	9	65	55	7		1	28	9	27	80	3		1	141	
		<i>Baetodes</i>			1					1	7						
Ephemeroptera	Leptophebiidae	<i>Farrodes</i>	130	3	4		27	14	7	220	84		16	24	185	1	
		<i>Leptohyphes</i>				1											
		Chordodidae	<i>Chordodidae</i>												3		1
<i>Allopetalia</i>																1	
Oligochaeta	Oligochaeta	<i>Oligochaeta sp</i>	63	37	20	8	14	95		18	45	79	9	14	58	17	
Plecoptera	Perilidae	<i>Anacroneuria</i>		3		15	1		10				5			2	
		<i>Claudioperla</i>	6	2	12				20	3	2	13	2	2		4	
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Glossiphoniidae sp</i>			1				14							6	
		<i>Atopsyche</i>	39	22	7	3	66	5	8	10	12	26	4	8		18	
		<i>Cailloma</i>		4													
Rhynchobdellida	Hydrobiosidae	<i>Parachorema</i>	3														
		<i>Contulma</i>											6	4			
		<i>Marilia</i>		12		1	19	72						1			
Trichoptera	Leptoceridae	<i>Triaenodes</i>		3													
		<i>Nectopsyche</i>		1				5	11				3	2		3	
		<i>Ochrotrichia</i>	1									1					
Trichoptera	Hydroptilidae	<i>Ithytrichia</i>											2				
		<i>Phylloicus</i>		1			8										
		<i>Polycentropus</i>															2
Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>															2
		<i>Smicridea</i>				4	7		5					4		3	
Tricladida	Dugesia	<i>Dugesia</i>	3	15				2	1		1	1	1		9		
Trombidiformes	Limnesidae	<i>Limnesidae</i>	1	1			1	2		1			1	1	6	1	

Tabla 3.- Abundancia total por género y grupo trófico.

Gremio trófico	Género	Abundancia
Colector	<i>Hexatoma</i>	488
Colector	<i>Andesiops</i>	426
Colector	<i>Heterelmis</i>	156
Colector	<i>Tipula</i>	145
Colector	<i>Neoelmis</i>	53
Colector	<i>Cyphon</i>	43
Colector	<i>Dugesia</i>	33
Colector	<i>Austrolimnius</i>	28
Colector	<i>Glossiphoniidae sp</i>	21
Colector	<i>Psephenus</i>	6
Colector	<i>Limonicola</i>	2
Colector	<i>Prionocyphon</i>	1
Colector-Raspador	<i>Farrodes</i>	715
Colector-Raspador	<i>Marilia</i>	105
Colector-Raspador	<i>Claudioperla</i>	66
Colector-Raspador	<i>Nectopsyche</i>	25
Colector-Raspador	<i>Phylloicus</i>	9
Colector-Raspador	<i>Clogmia</i>	4
Colector-Raspador	<i>Triaenudes</i>	3
Colector-Raspador	<i>Ochrotrichia</i>	2
Colector-Raspador	<i>Ithytrichia</i>	2
Colector-Raspador	<i>Leptohyphes</i>	1
Fragmentador	<i>Oligochaeta sp</i>	477
Fragmentador	<i>Arhynchobdellida</i>	27
Fragmentador	<i>Limonia</i>	10
Fragmentador	<i>Chordodidae</i>	4
Generalista	<i>Chironomidae sp</i>	1204
Generalista	<i>Gigantodax</i>	516
Generalista	<i>Stilobezzia</i>	26
Predador	<i>Atopsyche</i>	228
Predador	<i>Smicridea</i>	23
Predador	<i>Limnesidae</i>	15
Predador	<i>Neoplasta</i>	14
Predador	<i>Contulma</i>	10
Predador	<i>Lispe</i>	4
Predador	<i>Tabanus</i>	4
Predador	<i>Cailloma</i>	4
Predador	<i>Chelifera</i>	3
Predador	<i>Parachorema</i>	3
Predador	<i>Staphylinidae sp</i>	2
Predador	<i>Polycentropus</i>	2
Predador	<i>Muscidae sp</i>	1
Predador	<i>Allopetalia</i>	1
Raspador	<i>Hyalella</i>	1053
Raspador	<i>Anacroneuria</i>	36
Raspador	<i>Baetodes</i>	9

Tabla 4.- Índice de Shannon-Wiener

Estación	Índice de Shannon Wiener
REI 1	2,2
REI 2	1,98
REN 1	2,07
REN 2	1,8
RSF 1	2,7
RSF 2	1,81
RSIN 1	1,9
RSIN 2	2,01
RTAN 1	2,36
RTAN 2	2
RTCH 1	1,91
RTCH 2	1,49
RY3_1	1,78
RY3_2	1,39

Figura 13.-Imágenes de los macroinvertebrados bentónicos identificados



Chironomidae sp.



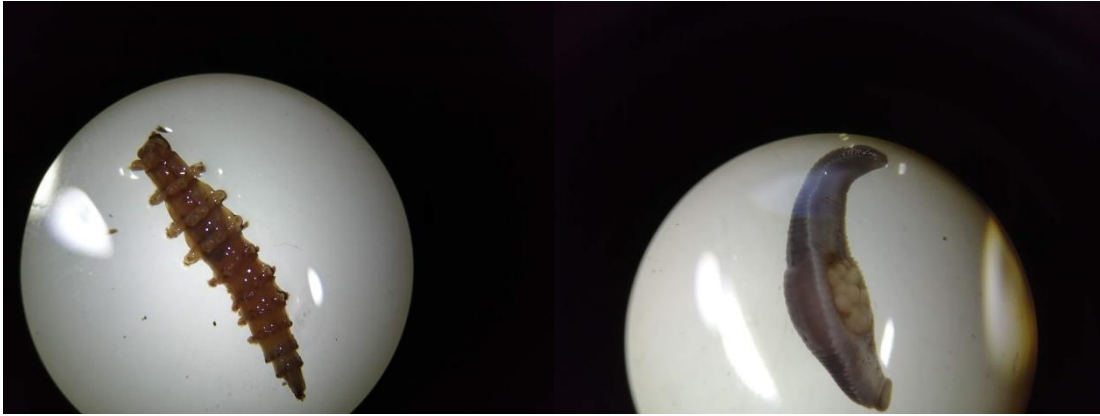
Atopsyche



Allopatalia



Anacroneuria



Tabanus

Orden Arhynchobdellida



Gigantodax

Nectopsyche

Figura 14.- Imagen de trabajo en fase de laboratorio

