

**COMPARACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS DE LOS RÍOS MOLINO Y TIMBÍO EN LA FRANJA ALTITUDINAL
COMPRENDIDA ENTRE 1900 Y 2000 M.S.N.M.**



JIMMY GAVIRIA CHIMONCE

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2017**

**COMPARACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS DE LOS RÍOS MOLINO Y TIMBÍO EN LA FRANJA ALTITUDINAL
COMPRENDIDA ENTRE 1900 Y 2000 M.S.N.M.**

Trabajo de Grado para optar el título de Biólogo

JIMMY GAVIRIA CHIMONCE

DIRECTOR

MSc. DANIEL FERIZ GARCÍA

CO-DIRECTOR

Dr. LUIS GERMAN GÓMEZ BERNAL

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2017**

Nota de aceptación

Director _____
DANIEL FERIZ GARCÍA M.Sc

Jurado _____
LEÓNIDAS ZAMBRANO POLANCO M.Sc

Jurado _____
ALBERTO MONCAYO-FERNÁNDEZ Bio.

Fecha y lugar de sustentación: Popayán, 29 de noviembre del 2017

A mi mamá, a mi papá, a mi hermana y a mi difunto hermano por su constante apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos muy, muy especiales a mi familia a mi madre Luz Alba Chimonce, mi padre José Ramiro Gaviria, mi hermana Yaneth L. Gaviria Chimonce, y mi difunto hermano Fernando Gaviria Chimonce, que me apoyaron siempre en la carrera, y me dieron ánimo en cada uno de las situaciones difíciles mientras estaba cursando uno a uno los semestres de la carrera.

Agradecimientos muy especiales a cada una de las personas que hicieron parte de este proyecto director Daniel Feriz, codirector German Gómez, a la Universidad del Cauca por brindar el apoyo, profesores, compañeros y amigos que de una forma u otra apoyaron con su ánimo y conocimientos.

Agradecimientos muy especiales a mi novia Liced Chimunja por su apoyo incondicional, por ser mi asistente de campo y por cada una de sus pequeñas ayudas.

Contenido

| | Pág |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN _____ | 10 |
| 1 INTRODUCCIÓN _____ | 12 |
| 2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA _____ | 13 |
| 3 JUSTIFICACIÓN _____ | 14 |
| 4 OBJETIVOS _____ | 15 |
| 4.1 Objetivo General _____ | 15 |
| 4.2 Objetivos Específicos _____ | 15 |
| 5 MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES _____ | 16 |
| 5.1 Generalidades _____ | 16 |
| 5.2 Diversidad Biológica _____ | 17 |
| 5.3 Métodos de medición al nivel de especies _____ | 17 |
| 5.4 Medición de la diversidad alfa _____ | 18 |
| 5.4.1 Medición de la riqueza específica _____ | 18 |
| 5.5 Medición de la diversidad beta _____ | 21 |
| 5.5.1 Índices de similitud/disimilitud _____ | 22 |
| 5.6 Antecedentes _____ | 25 |
| 6 METODOLOGÍA _____ | 28 |
| 6.1 Descripción del área de estudio _____ | 28 |
| 7 MATERIALES Y MÉTODOS _____ | 35 |
| 7.1 Fase de campo _____ | 35 |
| 7.2 Fase de laboratorio _____ | 36 |
| 7.3 Análisis de datos _____ | 36 |
| 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____ | 37 |
| 8.1 Riqueza, abundancia y composición de la fauna de macroinvertebrados de los ríos Molino y Timbío _____ | 37 |
| 8.1.1 Riqueza, abundancia y composición de macroinvertebrados del río Molino _____ | 37 |
| 8.1.2 Riqueza, abundancia y composición de macroinvertebrados del río Timbío. _____ | 41 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.2 | Calculo de Índices de diversidad alfa, Shannon-Weaver, riqueza de Margalef y dominancia de Simpson | 44 |
| 8.3 | Similitud de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en los ríos Molino y Timbío | 48 |
| 8.3.1 | Índice de similitud de Jaccard | 49 |
| 8.3.2 | Índice de Sorensen | 50 |
| 9 | CONCLUSIONES | 54 |
| 10 | RECOMENDACIONES | 56 |
| 11 | BIBLIOGRAFÍA | 57 |
| 12 | ANEXOS | 64 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Composición y estructura de macroinvertebrados río Molino. | 37 |
| Tabla 2. Composición y estructura de macroinvertebrados río Timbío. | 41 |
| Tabla 3. Valores de diversidad alfa para los puntos de muestreo..... | 44 |
| Tabla 4. Comparación de géneros presentes | 48 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Gráfica 1. Géneros de macroinvertebrados del río Molino..... | 40 |
| Gráfica 2. Géneros de macroinvertebrados del río Timbío. | 43 |
| Gráfica 3. Comparación de alfa diversidad | 46 |
| Gráfica 4: Similitud de acuerdo al índice de Jaccard de los ríos Molino y Timbío.. | 50 |
| Gráfica 5. Similitud de acuerdo al índice Sorensen de los ríos Molino y Timbío. ... | 51 |

LISTA DE IMÁGENES

| | pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| Imagen 1. Municipio de Popayán-Cauca. | 28 |
| Imagen 2. Cuenca del río Molino. | 28 |
| Imagen 3. Zona de muestreo en el río Molino..... | 29 |
| Imagen 4. Uso del suelo ribera río Molino..... | 30 |
| Imagen 5. Uso del suelo ribera río Molino..... | 30 |
| Imagen 6. Hábitats predominantes río Molino..... | 31 |
| Imagen 7. Alimento y hábitats río Molino. | 31 |
| Imagen 8. Municipio de Timbío. | 32 |
| Imagen 9. Cuenca del río Timbío. | 32 |
| Imagen 10. Vista desde Google Earth del punto de muestreo sobre el río Timbío | 32 |
| Imagen 11. Ribera del río Timbío..... | 33 |
| Imagen 12. Ribera del río Timbío..... | 33 |
| Imagen 13. Hábitats sobre el río Timbío. | 34 |
| Imagen 14. Corrientes del río Timbío..... | 34 |
| Imagen 15. Bosque de ribera río Timbío..... | 46 |
| Imagen 16. Bosque de ribera río Molino. | 46 |
| Imágenes 17-25 Imágenes de los macroinvertebrados más abundantes | 64 |

RESUMEN

El presente estudio comparó las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos en la región biogeográfica similar comprendida entre los 1900 y 2000 m.s.n.m. en un tramo dentro de los ríos Molino y Timbío. El propósito fue medir la similitud de macroinvertebrados acuáticos entre las áreas muestreadas a través de sus comunidades, utilizando índices de diversidad alfa y beta. Los puntos de muestreo fueron en la vereda Santa Bárbara al oriente de Popayán-Cauca, el segundo punto de muestreo fue en la vereda el Platanillal al oriente del municipio de Timbío-Cauca. Los muestreos se llevaron a cabo con red de pantalla y muestreo manual sobre piedras, troncos y hojarasca del lecho de los ríos. Se colectaron en total 973 individuos distribuidos en 2 clases, 9 órdenes, 24 familias y 40 géneros de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales.

En el río Molino la clase dominante fue Insecta, donde los órdenes Diptera (23%), Coleoptera (19,2%) y Ephemeroptera (15,4%) fueron los más ricos en géneros. Sin embargo, a pesar de ser los órdenes más ricos del total de la abundancia, los efemerópteros fueron los más representativos (33%), en donde los géneros *Thraulodes* y *Leptohyphe* dominaron. En posición decreciente, el orden Plecoptera (*Anacroneuria*) aporta el 20%, seguido de *Hydropsychidae* con los géneros *Leptonema* (11,4%) y *Smicridea* (11,9%).

En el río Timbío se colectaron 2 clases (Insecta y Malacostraca); los órdenes más ricos fueron Diptera (7 géneros), Coleoptera (5 géneros) seguido de Ephemeroptera y Trichoptera (4 géneros). De los 402 individuos colectados, el 38% son Tricópteros con *Leptonema* y *Smicridea* dominando el sistema, seguido de los órdenes Plecoptera (*Anacroneuria*) con el 28%, Ephemeroptera (*Leptohyphes*) con el 10,2% y Odonata (7,7%) dominando el género *Breshmorhoga*.

Los dos sistemas hídricos presentan una diversidad de Shannon media ($H_{prom}=2,3$), valor debido quizá a la baja riqueza de géneros y dominancia de solo algunos como *Anacroneuria*, *Leptonema*, *Smicridea*, *Thraulodes* y *Leptohyphes* en los dos ríos, que se ve reflejada en los altos valores del índice de Simpson ($D=0,9$), con respecto al índice de riqueza de Margalef, este indica una comunidad de riqueza media en el Molino ($M= 3,9$) de igual forma en el río Timbío ($M= 4,3$).

El índice de similitud de Jaccard y Sorensen muestra dos comunidades disimiles, compartiendo solamente 39,5% (Jaccard) y 64,7% (Sorensen); de los 53 géneros colectados en el presente estudio solo se compartieron 15 géneros y los restantes fueron exclusivos de una u otra fuente hídrica. Las diferencias encontradas en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos puede deberse a las diferencias en los sustratos y el flujo del agua, coberturas vegetales y procesos antrópicos.

Palabras claves: *comunidades, macroinvertebrados, diversidad, cuencas, similaridad, ríos.*

1 INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE's) son formas de vida presentes en las aguas de los ríos, lagos, lagunas y en general, en ecosistemas acuáticos epicontinentales. Su presencia está determinada por las condiciones existentes en el sitio, ya que van a depender de la interacción de los organismos que allí viven, con la atmosfera, las condiciones físicas (en especial corrientes y sustratos en arroyos y ríos), la calidad fisicoquímica del agua, disponibilidad del hábitat adecuado, fuentes de alimento y la presencia de depredadores, competidores y parásitos (Roldán, 2003; Domínguez y Fernández, 2009).

Los puntos de muestreo sobre las cuencas están situados a menos de 12 km, uno del otro, en línea recta; estos puntos están ubicados uno sobre el río Molino que corre hacia el occidente para llegar al río Cauca que sigue hacia el norte y desembocar en el río Magdalena. El segundo, el río Timbío que corre de Oriente a Sur-Occidente hasta encontrarse al río Quilcacé, punto donde se empieza a llamar río Patía (Lehmann *et al*, 2005).

Sin embargo, cuando los ríos atraviesan por cascos urbanos reciben altos grados de contaminación doméstica e industrial y son objeto de extracción de materiales como arena y grava en algunos casos, por lo que ha generado que las comunidades no presenten la variabilidad necesaria para el estudio, es por eso, que los puntos de muestreo se ubicaron por encima de los 1900 hasta los 2000 m.s.n.m., donde se registró menos perturbación y consecuentemente, mayor variabilidad.

De esta forma, se desarrolló el estudio de la caracterización, riqueza, dominancia y composición, además del análisis de diversidad alfa con índices de Shannon-Wiener (1949), Margalef (1958) y Simpson (1949) de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, por último, comparación de similitud de los puntos de muestreo con los índices de Jaccard cualitativo y Sorensen cuantitativo.

2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El Cauca es quizás el departamento con mayor cantidad de unidades biogeográficas en Colombia, en donde adicionalmente, se encuentra el macizo colombiano, principal estrella hidrológica del país (Ayerbe *et al*, 2008), presentando cuencas y subcuencas formadas por la gran extinción de un antiguo cuerpo de agua interior, entre ellas la del río Molino y la del río Timbío.

Los valles interandinos de los ríos Cauca y Patía fueron originados en el desecamiento de un gran lago, que se desaguó hacia el océano Pacífico por la Hoz de Minamá y hacia el océano Atlántico por el cañón de la Virginia (Gülh, 1975), debido al levantamiento de la meseta de Popayán. Proceso geológico que ayudó a la creación de nuevos micro hábitats en una misma zona de vida, con pocos referentes de estudio, especialmente la composición y estructura de MAE's, los cuales son indicadores de situaciones, tanto de contaminación o alteraciones ambientales, como de procesos geológicos y aislamientos geográficos.

A pesar de que el departamento del Cauca posee toda esta variedad de ecosistemas, hay muy pocos estudios relacionados a la comparación de la composición, estructura, diversidad y similitud de la comunidad de MAE's entre dos subcuencas muy cercanas, que escurran hacia áreas muy diferentes como el caso del río Molino, tributario de la cuenca del río Cauca, el cual desemboca en el Magdalena y por último al mar Caribe; y el río Timbío que vierte sus aguas al río Quilcacé, que desemboca en el Patía y posteriormente al océano Pacífico Tropical (INVEMAR, 2007).

Con el uso de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se responde a la pregunta ¿Cuál es la diferencia en la composición, estructura y diversidad de macroinvertebrados acuáticos, en dos tramos ubicados en los ríos Molino y Timbío que están separados geográficamente, pero en la misma franja altitudinal?.

3 JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de la actividad biológica de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y el entendimiento de la dinámica del sistema que habitan, hacen que los estudios basados en su taxonomía y distribución, provean información importante para comprender la ecología y el papel que desempeñan en el medio (Castellanos y Cerrato, 2008), además, de los diferentes tensores ambientales y antrópicos a los que están expuestos.

La caracterización permitirá indagar las relaciones existentes entre los MAE's del río Molino y el río Timbío, por medio de la composición y la estructura de las comunidades mediante análisis de diversidad Alfa (α) y Beta (β), estableciendo riqueza, abundancia, dominancia, y finalizando con la estimación de la similitud entre los ríos, al contrastar las muestras tomadas en los puntos muestreados, además de aportar nuevos estudios concernientes a la distribución de organismos macroinvertebrados acuáticos, su composición y estructura, lo cual será una base para posteriores estudios sobre calidad del agua, bioindicación y el estado de los ecosistemas acuáticos del departamento del Cauca.

Este estudio, además, aportara información sobre el efecto del levantamiento de la meseta de Popayán y la formación geológica de las cuencas del río Cauca y del río Patía sobre la distribución de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Comparar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de los ríos Molino y Timbío en la franja altitudinal comprendida entre 1900 y 2000 m.s.n.m.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la riqueza, abundancia y la composición de la fauna de macroinvertebrados acuáticos de los ríos Molino y Timbío.
- Calcular la diversidad alfa de los puntos muestreados.
- Estimar la similitud de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos entre los tramos de los ríos Molino y Timbío.

5 MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES

5.1 Generalidades

En la clase Insecta solamente el 3% de las especies son acuáticas; sin embargo, cerca de la mitad de los órdenes poseen especies que cuentan con al menos una etapa que se desarrolla en ambientes acuáticos (Merritt *et al.* 1996). Este grupo es llamado macroinvertebrados acuáticos, por estar presente en aguas dulces y por ser observables a simple vista, teniendo tamaños superiores a 0.5 mm de longitud. Dentro de la categoría de macroinvertebrados acuáticos se encuentran los nematodos, moluscos, anélidos, crustáceos, e insectos. Estos organismos viven sobre el fondo de los lagos, lagunas y ríos, enterrados, bajo rocas y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos andan libremente en el agua o sobre la superficie, son habitantes de dos tipos de ecosistemas de aguas dulces muy distintos entre sí: ecosistemas lénticos y lóticos (Roldán y Ramírez, 2009).

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos es de principal importancia para el entendimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas como el eslabón fundamental de la cadena trófica, sirviendo de alimento a los peces, a los anfibios y aves asociadas al medio acuático; y también, como indicadores biológicos de la calidad del agua y componentes de sistemas de agua dulce, aportando riqueza y diversidad. Además, estas comunidades también son una importante herramienta para monitoreos y programas de manejo (Rosenberg y Resh, 1993). Por lo tanto, el conocimiento de la actividad biológica de estos organismos permite entender la dinámica del sistema que habitan y los estudios basados en su taxonomía y distribución proveen información importante para comprender la ecología y el papel que desempeñan en el medio (Castellanos y Serrato, 2008).

Los índices de diversidad Alfa y Beta proporcionan medios para el análisis de las comunidades como lo son Shannon-Wiener (1949), Margalef (1958) o Simpson (1949) que presentan valores para la diversidad intrínseca dentro de un grupo muestreado, o en tal caso confrontar las comunidades con diversidad β reflejando la diferencia de la composición de dos zonas muestreadas, para lo cual, se utiliza el coeficiente de similitud de Jaccard, y el coeficiente de similitud de Sorensen para datos cuantitativos; siendo ambos tipos de diversidad independientes una de la otra (Moreno, 2001).

5.2 Diversidad Biológica

Por diversidad biológica se entiende la diversidad de organismos de cualquier fuente, incluidos entre otros, ecosistemas terrestres, marinos y ecosistemas acuáticos de aguas dulces (en este caso los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales que son los organismos que viven en ecosistemas dulceacuícolas) y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas (“Convenio sobre la Diversidad Biológica”, realizado en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992).

5.3 Métodos de medición al nivel de especies

Los estudios sobre la medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizar como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas, sin embargo, las comunidades no están asiladas en un entorno neutro, en cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a estructuras del paisaje, la separación de los

componentes alfa, beta y gamma (Whittaker, 1956) puede ser de gran utilidad, principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades antrópicas (Halffter, 1998). La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Whittaker, 1956; Moreno, 2001).

5.4 Medición de la diversidad alfa

Los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies, en su gran mayoría se refieren a la diversidad intrínseca de las comunidades (alfa). Y dependiendo de las variables biológicas que miden, se dividen en dos grandes formas de estudio: a) Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica o diversidad específica); b) Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.). De tal forma, este último método basado en la estructura, pueden a su vez clasificarse dependiendo de la dominancia o la equidad de la comunidad (Moreno, 2001).

5.4.1 Medición de la riqueza específica

Una de las formas menos complejas de medir la biodiversidad es la riqueza específica (S), pues analiza básicamente el número de especies presentes, sin importar el valor biológico de las mismas. En cambio, un inventario completo sería la forma ideal de medir la riqueza específica así permitiría conocer el número total de especies (S) obtenido por muestreos de las diferentes comunidades. Esto es

posible únicamente para ciertos organismos bien conocidos y de manera puntual (Moreno, 2001). La mayoría de las veces se recurre a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad. A continuación, se describe un índice para medir la riqueza de especies

5.4.1.1 Riqueza específica (S)

Número total de especies obtenido por un censo de la comunidad.

Índice de diversidad de Margalef

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Dónde

S = número de especies

N = número total de individuos

Relaciona el número de especies de acuerdo con número total de individuos, las especies son adicionadas por expansión de la muestra, la cual relaciona proporcionalmente el número de especies muestreadas y el número total de individuos $S = k\sqrt{N}$ donde k es constante (Magurran, 1988). Si esto no continúa, entonces el índice varía con la dimensión de muestra de forma incógnita. Usando $S-1$, en lugar de S, da $D_{Mg} = 0$ cuando hay una única especie (Moreno, 2001).

5.4.1.2 Índice de diversidad de Shannon-Weaver

Se usa en ecología u otras ciencias similares para medir la biodiversidad. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5. Excepcionalmente puede haber ecosistemas con valores mayores (bosques tropicales, arrecifes de coral) o menores (algunas zonas desérticas). La mayor limitante de este índice es que no tiene en cuenta la distribución de las especies en el espacio (Moreno, 2001).

La fórmula del índice de Shannon-Weaver es la siguiente:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) se halla de la siguiente manera:

$$p_i = n_i/N$$

Dónde:

n_i = número de individuos por especie.

N = número total de individuos en la muestra.

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia) (Zamora, 2007).

Los rangos para este índice en cuanto a diversidad son:

0 - 1.5: Poca Diversidad

1.6 – 3: Mediana Diversidad

3.1 – 5: Alta Diversidad

5.4.1.3 Índice de Dominancia de Simpson

El índice de Simpson representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Es decir, cuanto más se acerca el valor de este índice a la unidad existe una mayor posibilidad de dominancia de una especie y de una población; y cuanto más se acerque el valor de este índice a cero, mayor es la diversidad de un hábitat (Moreno, 2001).

La fórmula para el índice de Simpson es:

$$S = 1 / \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

Dónde:

- S es el número de especies
- N es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
- n es el número de ejemplares por especie

5.5 Medición de la diversidad beta

Diversidad entre comunidades o la diversidad beta o es el grado de cambio de especies o cambio de formas de vida a través de gradientes ambientales (Whittaker, 1972). Los resultados obtenidos de la medición de la diversidad beta están basados en proporciones o diferencias, estas proporciones pueden

evaluarse a través de la distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (presencia-ausencia de especies), o cuantitativos (abundancia proporcional de cada especie medida como número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etc.), o con base en índices y coeficientes de similitud, de disimilitud (Wilson y Shmida, 1984).

De la diversidad registrada entre las comunidades se puede obtener el cociente entre el número de especies distintas y el número de especies total considerando el conjunto de ambas comunidades. Una forma análoga de estimar la beta-diversidad del paisaje es obtener la tasa de aumento de la diversidad alfa a medida que se incorporan las comunidades que lo integran, como forma de apreciar la similitud entre las dos partes (Halffter *et al*, 2005).

Los índices de similitud son modelos basados en proporciones o diferencias que se evalúan para medir la distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos o cuantitativos, los procedimientos con los índices de similitud de Jaccard e índice de similitud de Sorensen para hallar la beta diversidad proporcionan los valores de similaridad, ya sea en porcentaje o un valor indicador, entre los dos ríos en los puntos muestreados (Halffter *et al*, 2005).

5.5.1 Índices de similitud/disimilitud

Dan a conocer el grado de similaridad en las muestras por presencia o ausencia de especies en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Magurran, 1988; Baev, Penev, 1995, Pielou, 1975).

Sin embargo, a partir de un valor de similitud (s) se puede medir fácilmente la disimilitud (d) entre las muestras: $d=1-s$ (Magurran, 1988). Los datos cualitativos o

cuantitativos directamente o a través de métodos de ordenación o clasificación de las comunidades ayudan a la obtención de los índices con base a los datos (Baev y Penev, 1995).

5.5.1.1 Índices con datos cualitativos

Coeficiente de similitud de Jaccard

El índice de similitud de Jaccard es Una expresión matemática muy simple para expresar la semejanza entre comunidades es el coeficiente propuesto por Jaccard (índice de Jaccard). Este índice se basa en la relación de presencia- ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas (o comunidades) y en el número total de especies (Kent & P. Coker, 1992). Este índice se expresa de la siguiente manera: $ISJ = [c / (a+b+c)]*100$, Donde ISJ = Índice de Semejanza de Jaccard, a = número de especies exclusivas de la comunidad A, b = número de especies exclusivas de la comunidad B, y c = número de especies comunes para ambas comunidades (Badii, J. Landeros, y Cerna, E. 2008).

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Dónde

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

5.5.1.2 Índices con datos cuantitativos

Coeficiente de similitud de Sorensen para datos cuantitativos

Este índice de similitud es propuesto por Sorensen (Índice de Sorensen) el cual se basa también en la presencia y ausencia de las especies de las comunidades comparadas (Mueller y Ellenberg, 1974). Matemáticamente se expresa como sigue: $ISS = [c / 1/2(A+B)] * 100$, o bien: $ISS = [2c / (A+B)] * 100$. Donde, ISS = Índice de semejanza de Sorensen, C = Número de especies comunes en las dos.

Índice de Sorensen coeficiente de similitud para datos cuantitativos

$$I_{scuant} = \frac{2pN}{aN + bN}$$

Dónde

aN= número total de individuos en el sitio A

bN= número total de individuos en el sitio B

pN= sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios

5.6 Antecedentes

Al hacer un recorrido de los estudios que han antecedido este trabajo, se han encontrado publicaciones que corresponden con temáticas relacionadas al problema de investigación aquí propuesto. Al respecto, para el río Molino se han referenciado las siguientes investigaciones

Zamora (1998); con el estudio “Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino por efecto de las comunidades antrópicas y de la contaminación doméstica” realizó un análisis de las condiciones ambientales principalmente desde el punto de bioindicación, diferenciando 3 zonas: parte alta, media y baja, encontrando 4 phyla, 5 clases, 11 órdenes y 34 géneros de macroinvertebrados acuáticos.

Nieto y Mesa (2003); en el estudio “Cambios en el nivel de contaminación de las aguas del río Molino, municipio de Popayán, departamento del Cauca” plantearon cuatro puntos de muestreo, desde la entrada del río al casco urbano, hasta la llegada a la desembocadura, midiendo los niveles de contaminación fisicoquímicos y biológicos del afluente en cada zona, obteniendo 4 phyla, 5 clases, 22 familias y 35 géneros, observando un detrimento de la calidad del agua desde que entra del río a la ciudad hasta la llegada al río Cauca.

De la misma manera, para el río Timbío se referencian los siguientes estudios relacionados con la temática de investigación.

Campo y Vidal (1998); en el estudio “Caracterización fisicoquímica y de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Timbío sector comprendido entre la Unión y el Puente Timbío departamento del Cauca” realizaron el análisis del río desde antes de que pasara por el casco urbano del municipio hasta cercanías a la desembocadura o formación del río Patía, encontrando 4 phyla, 5

clases, 11 órdenes, 23 familias y 28 géneros, en temporadas de lluvia y temporada seca.

Otros trabajos relacionados con el tema de investigación son los presentados por:

Sanhuesa (2010); en el estudio “Comparación de dos comunidades de macroinvertebrados acuáticos bajo un bosque siempre verde y una plantación de *Pinus radiata* D. Don en la provincia de Maldivia” se compararon dos arroyos de la misma cuenca, uno con cubierta de bosque nativo y el segundo con cubierta de plantaciones de pino, teniendo como resultado que la vegetación exótica y la no protección de la cuenca, se ve reflejada en la constitución taxonómica, riqueza, y abundancia de ambos sitios, teniendo como conclusión que la actividad forestal tiene consecuencias apreciables sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

Moya, *et al.* (2009); en el estudio “Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los ríos intermitentes y permanentes del altiplano Boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático” donde fue estudiado el impacto de la estacionalidad de los ríos sobre las comunidades de macroinvertebrados, teniendo como resultado que la estacionalidad no tuvo efecto significativo sobre la riqueza ni densidad de macroinvertebrados, tampoco se encontraron efectos notorios sobre la composición trófica ni los rasgos biológicos (tipo de respiración), pero sí se encuentran diferencias significativas en la composición taxonómica.

Guevara *et al.* (2006); en el estudio “Comparación del macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la reserva costera Valdiviana, sur de Chile” el estudio constó de una evaluación rápida de abundancia y diversidad taxonómica en dos arroyos, donde uno presenta perturbación y el otro presentaba bosque nativo, obteniendo como resultado que, cada uno de los dos arroyos tienen una estructura comunitaria particular, determinada fundamentalmente por la geomorfología local y parámetros físicos.

Burrial y Ocharan (2007); en el estudio “Comparación del muestreo de macroinvertebrados bentónicos fluviales con muestreador surber y con red manual en ríos de Aragón (NE Península Ibérica)”, se realizó un estudio en 15 estaciones de muestreo distribuidas por la red fluvial de Aragón, para la toma de muestras con muestreador surber y con red manual, con el fin de comparar estos dos métodos de muestreo, dando como resultado que ambos métodos proporcionaron datos similares al ser empleados en una misma comunidad, presentando elevados coeficientes de correlación y pendientes cercanas a 1.



Imagen 3. Zona de muestreo en el río Molino.

El punto de muestreo con coordenadas $2^{\circ} 25''$ N y $76^{\circ} 33''$ O, ubicado en la vereda Santa Bárbara pertenece a una zona de vida de Bosque muy húmedo pre montano bajo (bmh-PB) según la clasificación de Holdridge (1978) y catalogados por Cuatrecasas (1958) como la formación vegetal de selva Subandina (1000 y 2400 m.s.n.m.).

El afluente entre 1900 y 2000 m.s.n.m. presenta una temperatura promedio de 17° C y hay precipitaciones medias anuales de alrededor de 2040 mm, el mes más seco es julio con entre 50 y 350 mm, y el más lluvioso es noviembre donde recibe las mayores precipitaciones. La pendiente en el punto de muestreo se encuentra entre 6-11%, y presenta depósitos aluviales que están constituidos por materiales clásticos muy heterogéneos en tamaños, conformados por gravas y arenas bien seleccionadas hacia esa parte de la cuenca (P.O.T., Municipio de Popayán 2013), y cobertura de bosque de ribera entre un 20 y 35%.

El área rural alrededor del río es la comprendida entre los perímetros de la zona urbana y los límites geográficos del municipio de Popayán. Constituyen por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas, también se presentan derrumbes por la deforestación de las márgenes del río y la erosión natural. Además, el curso de agua tiene una respuesta rápida a las lluvias, las crecientes son violentas y de corta duración. (Imágenes 4 y 5).



Imagen 4. Uso del suelo ribera río Molino.



Imagen 5. Uso del suelo ribera río Molino.

Son cursos de agua de zonas de montaña con pendiente longitudinal $> 5\%$. El transporte sólido está compuesto principalmente por piedras, cantos rodados, grava y arena creando dentro de él, hábitats con un 85% de áreas rocosas con rápidos constantes, además de puntos de acumulación de detritos (hojarasca, ramas y maderos) hacia las orillas y pequeñas zonas de corrientes lentas con arenisca que dinamiza las comunidades de macroinvertebrados presentes en el punto de muestreo (imágenes 6 y 7).



Imagen 6. Hábitats predominantes río Molino.



Imagen 7. Alimento y hábitats río Molino.

El punto de muestreo con coordenadas 2° 20" N y 76° 37" O, ubicado en la vereda El Platanillal pertenece a una zona de vida de Bosque muy húmedo pre montano bajo (bmh-PB) según la clasificación de Holdridge (1978) y catalogados por Cuatrecasas como la formación vegetal de selva Subandina (1000 y 2400 m.s.n.m.).

La sub cuenca a la altura entre 1900 y 2000 m.s.n.m. presenta una temperatura promedio de 17° C y precipitaciones anuales de entre 1000 y 2000 mm por año, caracterizándose por presentar suelos de origen volcánico, con pendientes suaves y cortas, dando origen a un paisaje de una forma colinada, con suelos muy productivos pero susceptibles a procesos erosivos (P.B.O.T., municipio de Timbío 2000), y cobertura de bosque de ribera de entre un 70% a un 90%, además el río tiene pequeñas llanuras de inundación, en casos de crecientes súbitas en la parte alta del río (imágenes 11 y 12).



Imagen 11. Ribera del río Timbío.



Imagen 12. Ribera del río Timbío.

En el río Timbío, la zona de muestreo se encuentra con una suave pendiente, no presenta áreas con rocas grandes, en su gran mayoría son rocas pequeñas, gravilla y arenas, contiene grandes puntos de acumulación de detritos (hojas, maderos y ramas), corrientes lentas, río poco profundo y cursos meándricos como se notan en las imágenes 11 y 12.



Imagen 13. Hábitats sobre el río Timbío.



Imagen 14. Corrientes del río Timbío.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Fase de campo

El trabajo de campo inició con el reconocimiento previo de las zonas de estudio donde se realizarían los muestreos, éste se llevó a cabo en el mes de octubre de 2015, con el establecimiento de los puntos de colecta de macroinvertebrados acuáticos por medio de GPS y tramos a muestrear, estos corresponderían a 300 metros desde el punto señalado en el río, y se distribuirían 150 metros río arriba y 150 metros río abajo, desde el punto referenciado.

Los muestreos fueron realizados entre los meses octubre de 2015 y enero de 2016, esta temporada incluyó dos períodos de alta pluviosidad y dos de baja pluviosidad, esto según el IDEAM 2015, ya que durante esa época hubo cambios en el clima, durante la colecta de MAE's, se tomaron en cuenta algunos factores ambientales como lo son la temperatura ambiental y humedad relativa. Por último, cada muestreo se efectuó al final de cada mes, lo que finalmente, representaría un total de cuatro muestreos por río.

Para la captura de los MAE's se utilizó una red de pantalla de un metro cuadrado de área, con un ojo de malla de 0.5 mm con la cual se muestreo un área de 1 m² en cada uno de los hábitats presentes en el tramo de estudio (Domínguez y Fernández, 2009; Roldan y Ramírez, 2008). Complementariamente se realizó una captura manual que consistió en revisar piedras, troncos, hojarasca, o cualquier otro objeto susceptible de ser utilizado por los MAE's como sustrato o morada; cada colecta desarrollada de macroinvertebrados acuáticos tenía una duración de cuatro horas.

En cada tramo se tomó una muestra compuesta y todos los organismos colectados se depositaron en frascos plásticos con alcohol al 70% de concentración, para ser transportados al laboratorio de recursos hidrobiológicos de la Universidad del Cauca, para su posterior identificación, de acuerdo con la metodología propuesta por Domínguez & Fernández (2009).

7.2 Fase de laboratorio

Para la determinación de los macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras tomadas, se prepararon las muestras por medio de separación manual bajo un estereoscopio Nikon en el laboratorio de recursos hidrobiológicos continentales de la Universidad del Cauca; la identificación se llevó a cabo por medio de guías y claves específicas para el estudio de estos organismos, como son las de Roldan, (1996), Merritt *et al.* (1996) y Domínguez & Fernández (2009).

7.3 Análisis de datos

Los resultados se organizaron en tablas de Excel donde se incluyó la clase, orden, familia, género, número de individuos colectados en cada tramo del río; adicionalmente se calculó la diversidad alfa y beta diversidad por medio de los índices de diversidad de Shannon-Weaver, índice de riqueza Margalef e índice de Simpson y se calculó el índice de similitud de Jaccard para datos cualitativos y Sorensen para datos cuantitativos, utilizando el software libre Pass versión 20.0.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Riqueza, abundancia y composición de la fauna de macroinvertebrados de los ríos Molino y Timbío

Después de realizar la colecta manual y con la red de pantalla dentro del área establecida, se presentan a continuación los resultados del ejercicio en campo, mostrando la clasificación taxonómica, el número de individuos y porcentaje de abundancia en cada uno de los ríos.

8.1.1 Riqueza, abundancia y composición de macroinvertebrados del río Molino

En el río Molino, se colectaron un total de 571 individuos, pertenecientes a un phyla, una clase, 8 órdenes, 21 familias, 26 géneros (tabla 1).

Tabla 1. Composición y estructura de macroinvertebrados río Molino.

| Orden | Familia | Género | Número de individuos | % |
|------------|-----------------|--------------------|----------------------|------|
| Coleoptera | Elmidae | <i>Cylloepus</i> | 5 | 0,87 |
| | | <i>Dicersus</i> | 1 | 0,18 |
| | | <i>Heterelmis</i> | 6 | 1,05 |
| | Psephenidae | <i>Psephenops</i> | 2 | 0,35 |
| | Ptilodactylidae | <i>Anchytarsus</i> | 3 | 0,52 |
| Diptera | Blephariceridae | <i>Paltosoma</i> | 6 | 1,05 |
| | Chironomidae | <i>Ablabesmyia</i> | 3 | 0,52 |
| | Musidae | <i>Limnophora</i> | 1 | 0,18 |
| | Simullidae | <i>Simulium</i> | 1 | 0,18 |

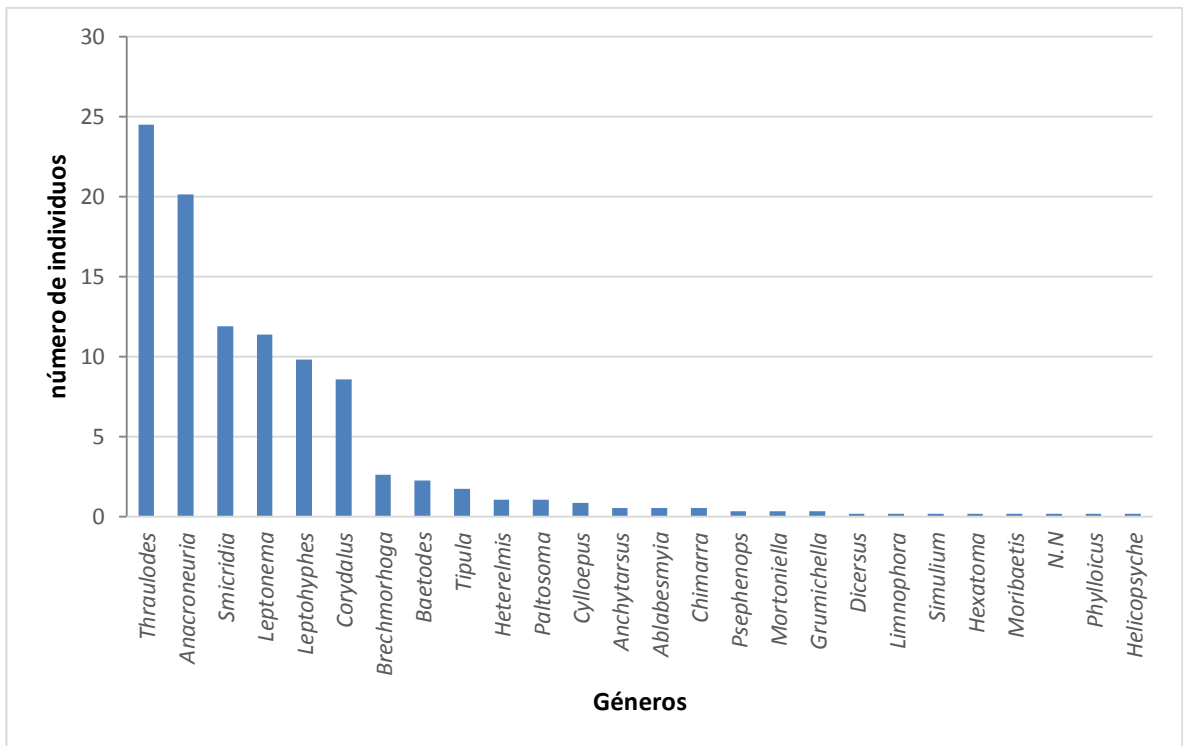
| Orden | Familia | Género | Número de individuos | % |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------|
| | Tipulidae | <i>Tipula</i> | 10 | 1,75 |
| | | <i>Hexatoma</i> | 1 | 0,18 |
| Ephemeroptera | Baetidae | <i>Baetodes</i> | 13 | 2,27 |
| | | <i>Moribaetis</i> | 1 | 0,18 |
| | Leptophlebiidae | <i>Thraulodes</i> | 140 | 24,52 |
| | Trichorythidae | <i>Leptohyphes</i> | 56 | 9,81 |
| Lepidoptera | Pyralidae | <i>N.N</i> | 1 | 0,18 |
| Megaloptera | Corydalidae | <i>Corydalus</i> | 49 | 8,58 |
| Odonota | Libellulidae | <i>Brechmorhoga</i> | 15 | 2,63 |
| Plecoptera | Perlidae | <i>Anacroneuria</i> | 115 | 20,14 |
| Trichoptera | Calamoceratidae | <i>Phylloicus</i> | 1 | 0,18 |
| | Helicopsychidae | <i>Helicopsyche</i> | 1 | 0,18 |
| | Hydropsychidae | <i>Leptonema</i> | 65 | 11,38 |
| | | <i>Smicridia</i> | 68 | 11,90 |
| | Glossosomatidae | <i>Mortoniella</i> | 2 | 0,35 |
| | Leptoceridae | <i>Grumichella</i> | 2 | 0,35 |
| | Philopotamidae | <i>Chimarra</i> | 3 | 0,52 |
| Total | | | 571 | 100% |

Los organismos recolectados e identificados pertenecen al Phylum Arthropoda y la clase Insecta, dentro de estos, Los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera, y Plecoptera son los más abundantes con una representatividad de 36.78% de Efemerópteros, 24.86% de Tricópteros y el 20.14% de Plecópteros, de la muestra total acumulada, comprendiendo así el 81.76%, de la colecta total acumulada, seguido de ellos los órdenes Megaloptera, Diptera, Coleoptera, Odonata y, Lepidoptera.

En este estudio sobresalen seis familias, las cuales representan el 88.08% de la muestra total ellas son: Leptophlebiidae con el 24.52% (140 individuos), Hydropsychidae 23.63 (Ni= 135), Perlidae 20.14 (Ni= 115), Trichorythidae 9.81% (ni= 56), Coridalidae, 8.58% (Ni= 49) y por último Baetidae 2.27 (Ni= 13).

Los géneros más abundantes, en el área colectada son: *Anacroneuria* con 20.14%, *Smicridea* con 11.90%, *Leptonema* con 11.38%, *Leptohyphes* con 9.81%, *Coridalus* con 8.58% y *Baetodes* con 2.27%, representado estos géneros más del 60% de la muestra total (tabla 1). Esto indica, ecosistemas cálidos y poco contaminados que ofrecen condiciones ideales para el establecimiento de comunidades bentónicas diversas y complejas (Roldan, 1985), por la presencia de las familias y géneros de Ephemeroptera y Plecoptera en estas corrientes, lo que indica la tendencia a relacionarse con aquellas de mayor porcentaje de sustratos gruesos como piedras y grava, mejor calidad del agua (Zúñiga, *et al*, 2013).

Por último, los órdenes más ricos con respecto a familias y géneros son Coleoptera con 3 familias y 5 géneros, Diptera con 5 familias y 6 géneros, Ephemeroptera con 3 familias y 4 géneros, y por último, Trichoptera con 5 familias y 7 géneros siendo este último el más rico con respecto a géneros.



Gráfica 1. Géneros de macroinvertebrados del río Molino

8.1.2 Riqueza, abundancia y composición de macroinvertebrados del río Timbío.

En el río Timbío se recolectaron un acumulado total de 402 macroinvertebrados acuáticos, pertenecientes a un phyla, 2 clases, 9 órdenes, 24 familias y 27 géneros.

Tabla 2. Composición y estructura de macroinvertebrados río Timbío.

| Orden | Familia | Género | Número de individuos | % |
|---------------|------------------------|----------------------|----------------------|------|
| Coleoptera | Driopidae | <i>Pelonomus</i> | 3 | 0,76 |
| | Elmidae | <i>Cylloepus</i> | 9 | 2,24 |
| | Psephenidae | <i>Psephenops</i> | 14 | 3,48 |
| | <i>Ptilodactylidae</i> | <i>Anchytarsus</i> | 8 | 1,99 |
| | Scirtidae | <i>Elodes</i> | 1 | 0,25 |
| Diptera | Athericidae | <i>Atherix</i> | 5 | 1,23 |
| | Ceratopogonidae | <i>Atrichopogon</i> | 1 | 0,25 |
| | Simuliidae | <i>Simulium</i> | 2 | 0,50 |
| | Tabanidae | <i>Tabanus</i> | 1 | 0,25 |
| | Tipulidae | <i>Monophilus</i> | 1 | 0,25 |
| | | <i>Tipula</i> | 5 | 1,23 |
| | | <i>Hexatoma</i> | 1 | 0,25 |
| Ephemeroptera | Baetidae | <i>Moribaetis</i> | 8 | 1,99 |
| | Leptophlebiidae | <i>Thraulodes</i> | 12 | 2,99 |
| | Oligoneuriidae | <i>Lachlania</i> | 2 | 0,50 |
| | Tricorythidae | <i>Leptohyphes</i> | 19 | 4,73 |
| Hemiptera | Veliidae | <i>Stridulivelia</i> | 1 | 0,25 |
| Odonata | Colopterygidae | <i>Hetaerina</i> | 4 | 1 |

| | | | | |
|--------------|--------------------|---------------------|-----|-------|
| | Gomphidae | <i>Progonphus</i> | 9 | 2,24 |
| | Libellulidae | <i>Brechmorhoga</i> | 18 | 4,47 |
| Megaloptera | Corydalidae | <i>Corydalus</i> | 11 | 2,74 |
| Plecoptera | Perlidae | <i>Anacroneuria</i> | 113 | 28,11 |
| Trichoptera | Calamoceratidae | <i>Phylloicus</i> | 34 | 8,47 |
| | Hydropsychidae | <i>Leptonema</i> | 65 | 16,17 |
| | | <i>Smicridea</i> | 52 | 12,92 |
| | Leptoceridae | <i>Triplectides</i> | 1 | 0,25 |
| Decapoda | Pseudothelphusidae | <i>Hypolobocera</i> | 2 | 0,50 |
| Total | | | 402 | 100% |

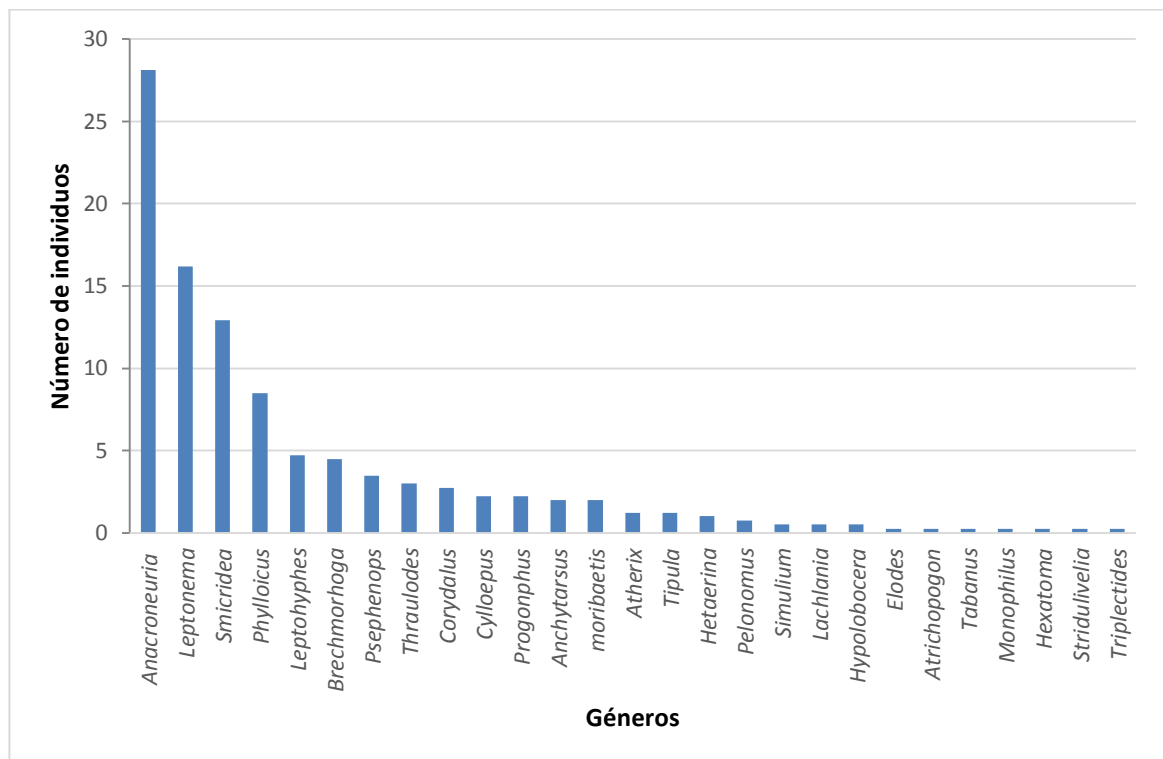
Los organismos colectados pertenecen al Phylum Arthropoda, la clase Insecta y clase Malacostraca, dentro de estos, Los órdenes, Trichoptera, Plecoptera, Odonata y Ephemeroptera son los más abundantes en la colecta, con el 37.81% de Trichopteros, 28.11% de Plecópteros y el 10.21% de Efemerópteros, comprendiendo así el 76.13% de la colecta total, seguido de ellos los órdenes Coleoptera, Odonata, Megaloptera, Diptera, Decapoda y Hemiptera.

De la muestra total de 9 órdenes colectados en el río Timbío, sobresalen las familias Hydropsychidae con el 29.09% (117 individuos), Perlidae 28.11% (Ni= 113), y Calamoceratidae con el 8.47%, Tricorythidae con el 4.73% (Ni= 19), Libellulidae con el 4.47% (Ni= 18) y Psephenidae con 3.48% (Ni= 14) las cuales representan el 78.35% de individuos colectados.

Los géneros más abundantes, en el área muestreada son: *Anacroneuria* con un 28.11%, *Leptonema* con un 16.17%, *Smicridia* 12.92%, *Phylloicus* con un 8.47%, *Breshmoroga* 4.47% y *Leptohyphes* con un 4.73%, al igual como en el río Molino, los géneros y familias encontrados en el río Timbío, indican ecosistemas poco contaminados que ofrecen condiciones ideales para el establecimiento de comunidades bentónicas complejas y diversas (Roldan, 1985), además, la presencia de estos géneros en estas corrientes, indica la tendencia a relacionarse

con aquellas de mayor porcentaje de sustratos gruesos, como piedras y grava, mejor calidad del agua y con presencia de corredores con vegetación ribereña (Zúñiga *et al*, 2013).

Para el río Timbío tenemos una riqueza de familias y géneros comprendidos de la siguiente manera Coleoptera con 4 familias y 4 géneros, Diptera con 5 familias y 7 géneros, Ephemeroptera, con 4 familias y 4 géneros, Odonata con 3 familias y 3 géneros, Trichoptera con 3 géneros, teniendo los dípteros como el orden más rico en términos de géneros.



Gráfica 2. Géneros de macroinvertebrados del río Timbío.

8.2 Cálculo de Índices de diversidad alfa, Shannon-Weaver, riqueza de Margalef y dominancia de Simpson

Posterior al análisis taxonómico de las muestras colectadas en los dos puntos de muestreo, se determinó la presencia de 20 familias de macroinvertebrados y una riqueza de 26 géneros para el río Molino, así mismo en el río Timbío después de la colecta, se presentó 25 familias y 27 géneros que muestran la diversidad de los grupos encontrados en las zonas de muestreo.

Teniendo los anteriores datos, se puede relacionar el número de géneros con la proporción de individuos pertenecientes a cada una de ellas presente en la muestra para calcular los índices de diversidad alfa (Campo & Duval, 2014) (tabla 3).

Tabla 3. Valores de diversidad alfa para los puntos de muestreo.

| Diversidad | Río Molino | Río Timbío |
|------------|------------|------------|
| Shannon H | 2,2 | 2,4 |
| Margalef | 3,9 | 4,3 |
| Simpson | 0,9 | 0,9 |

Como resultado se tiene que debido a que en el río Molino hubo muchos individuos similares con respecto al Timbío, no hay una diferencia considerable en el índice de diversidad de Shannon-Weaver entre los dos sistemas lóticos y ambos se encuentran en una diversidad media; teniendo en cuenta el índice de Margalef el cual considera que los puntajes menores a 2 corresponden a baja riqueza y mayores que 5 una alta riqueza; de acuerdo a los puntajes obtenidos, las comunidades del río Molino y Timbío se consideran como de mediana riqueza, aunque en el río Timbío se acerca más a una zona de alta riqueza según la comparación de puntajes proporcionados por el índice de Margalef.

El índice de dominancia de Simpson muestra la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie, representado entre los valores 0 hasta 1, indicando que entre el valor más se acerque a 1 la dominancia de una comunidad va a ser mayor (Bouza, 2005). En este caso los valores para el río Molino y para el río Timbío respectivamente, son altos, dominados por solo unos pocos grupos que tienen mayor representatividad en los afluentes. Es así, como los grupos Ephemeroptera (*Thraulodes*), Plecoptera (*Anacroneuria*), Trichoptera (*Leptonema* y *Smidridea*) son dominantes en el río Molino. Estos son un grupo de insectos acuáticos que se caracterizan por vivir principalmente en aguas frías, de corrientes rápidas, oxigenadas y oligotróficas; además, son sensibles a cambios en las condiciones del hábitat y la calidad del agua, habitan en todo tipo de ríos y arroyos de corriente moderada a fuerte, superficiales y transparentes, se refugian debajo y entre las piedras, además, en la hojarasca y en troncos en descomposición en el lecho del río.

Los grupos insectos que dominan en el río Timbío son de los órdenes Plecoptera (*Anacroneuria*), Trichoptera (*Leptonema*, *Smicridea* y *Philloicus*), Odonata (*Breshmoroga*), Ephemeroptera (*Leptohyphes*), que a excepción del género *Breshmoroga*, se muestra una similitud al grupo mayoritario en el río Molino, además, estos organismos también necesitan las mismas condiciones de fisicoquímicas y ambientales específicos para su desarrollo dentro del lecho del río, a comparación de su contraparte en Popayán.

De esta forma, comparando el río Timbío que cuenta con mejores bosques riparios, con una intervención menor y muy extendida hacia las riberas, lo cual permite cumplir con el decreto 2811 de 1974 que promueve una franja de bosque hasta de 30 m de ancho a la orilla del río; brindando a las diversas comunidades de macroinvertebrados, mejores sustratos, alimento y en general, mejores condiciones para su desarrollo. Evidenciándose en mejores valores de diversidad en el índice de Shannon y el valor de la diversidad en el índice de Margalef visibles en la tabla 3.

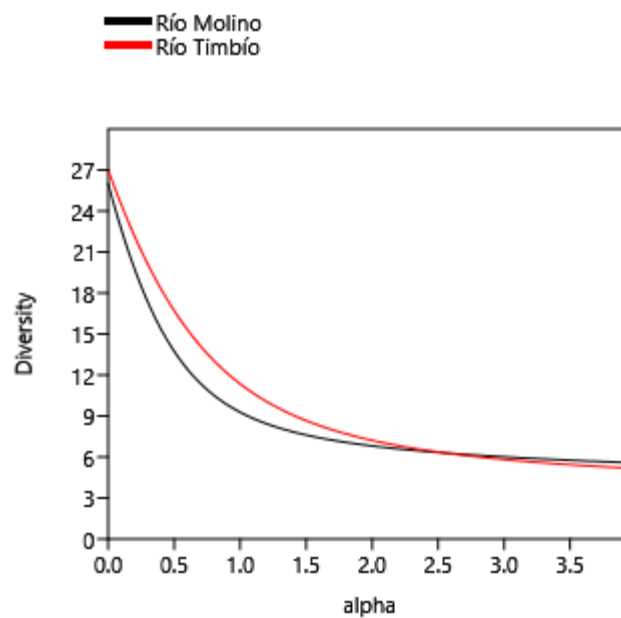


Imagen 15. Bosque de ribera río Timbío.



Imagen 16. Bosque de ribera río Molino.

Así mismo, se muestra que, aunque hay una mayor cantidad de individuos en una zona y una mayor abundancia, se encuentra la misma variabilidad de individuos, pues hay poblaciones que remplazan las que no se encuentran dentro de ese mismo hábitat ayudando así, a que las medidas de alfa diversidad en los tramos



establecidos para captura indiquen valores semejantes entre una y otra zona donde se hizo la colecta.

En la gráfica 3 se puede evidenciar como la diversidad alfa en los dos ríos tienen características similares, es decir los valores de Shannon, Margalef y Simpson son equidistantes y no hay diferencias significativas visibles entre uno y el otro en este tipo de análisis, dado a que la cantidad de individuos colectados tanto en familias como en géneros siempre tendían a igualarse.

8.3 Similitud de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en los ríos Molino y Timbío

Entre dos comunidades distintas geográficamente contiguas en el territorio, existirán especies diferentes y muy probablemente especies comunes. La diversidad beta es la tasa de cambio en especies de dos comunidades vegetales o animales adyacentes. Refleja por lo tanto, la diferencia de composición de las dos comunidades y en última instancia, la heterogeneidad de las comunidades (Molina & Merle, 2010), ambientes heterogéneos permiten ser colonizados por un mayor número de especies, con lo cual aumenta la diversidad

Al contrastar los géneros que integran cada muestreo, se obtiene la tabla número cuatro, donde se evidencian aquellos organismos diferentes e iguales que son encontrados en el área muestreada, y aquellos que no se encuentren en su contraparte, estos géneros muestran la variabilidad de las comunidades entre los puntos y la magnitud de cambio en la composición de las comunidades y el grado de diferenciación entre ellas.

Tabla 4. Comparación de géneros presentes

| Géneros de macroinvertebrados compartidos entre los dos ríos | | | |
|--------------------------------------------------------------|-----|-------------------|----|
| Río Molino | | Río Timbío | |
| <i>Hexatoma</i> | 1 | <i>Hexatoma</i> | 1 |
| <i>Cylloepus</i> | 5 | <i>Cylloepus</i> | 9 |
| <i>Psephenops</i> | 2 | <i>Psephenops</i> | 14 |
| <i>Simulium</i> | 1 | <i>Simulium</i> | 2 |
| <i>Tipula</i> | 10 | <i>Tipula</i> | 5 |
| <i>Moribaetis</i> | 1 | <i>Moribaetis</i> | 8 |
| <i>Traulodes</i> | 140 | <i>Traulodes</i> | 12 |

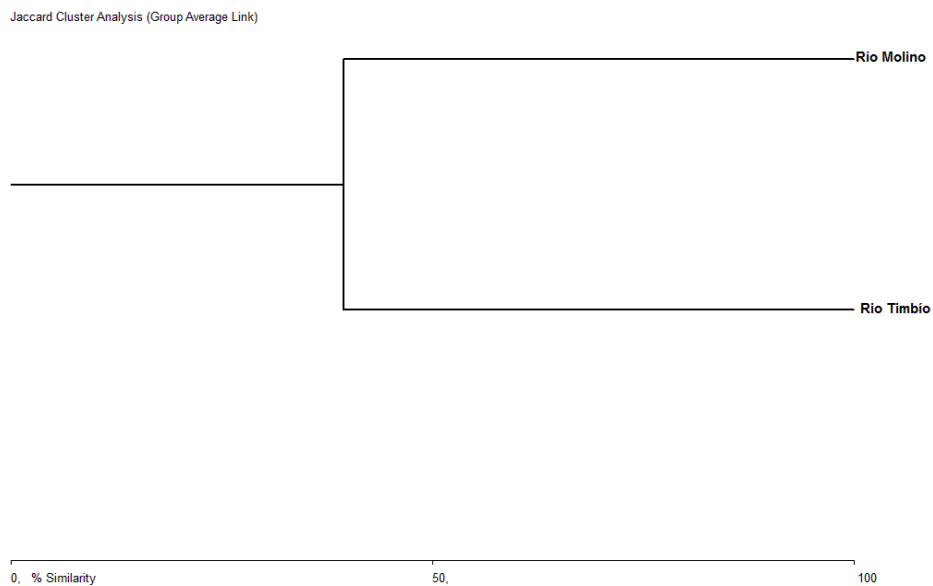
| | | | |
|------------------------------------------------------|-----|----------------------|-----|
| <i>Leptohyphes</i> | 56 | <i>Leptohyphes</i> | 19 |
| <i>Corydalis</i> | 49 | <i>Corydalis</i> | 11 |
| <i>Brechmorhoga</i> | 15 | <i>Brechmorhoga</i> | 18 |
| <i>Anacroneuria</i> | 115 | <i>Anacroneuria</i> | 113 |
| <i>Phylloicus</i> | 1 | <i>Phylloicus</i> | 34 |
| <i>Leptonema</i> | 65 | <i>Leptonema</i> | 65 |
| <i>Smicridia</i> | 68 | <i>Smicridea</i> | 52 |
| <i>Anchytarsus</i> | 3 | <i>Anchytarsus</i> | 8 |
| Macroinvertebrados NO compartidos entre los dos ríos | | | |
| <i>Dicersus</i> | 1 | <i>Pelonomus</i> | 3 |
| <i>Heterelmis</i> | 6 | <i>Elodes</i> | 1 |
| <i>Paltosoma</i> | 6 | <i>Atherix</i> | 5 |
| <i>Ablabesmyia</i> | 3 | <i>Atrichopogon</i> | 1 |
| <i>Limnophora</i> | 1 | <i>Tabano</i> | 1 |
| <i>Baetodes</i> | 13 | <i>Monophilus</i> | 1 |
| <i>Pyralidae</i> | 1 | <i>Laclania</i> | 2 |
| <i>Helicopsyche</i> | 1 | <i>Strudulivelia</i> | 1 |
| <i>Mortoniella</i> | 2 | <i>Hetearina</i> | 4 |
| <i>Grumichella</i> | 2 | <i>Progonfus</i> | 9 |
| <i>Chimarra</i> | 3 | <i>Triplectides</i> | 1 |
| | | <i>Hypolobocera</i> | 2 |

8.3.1 Índice de similitud de Jaccard

Como se muestra en la tabla 4 de los 39 géneros colectados, existen solo 15 en común entre los ríos de muestreados. Tras calcular el índice de similitud de

Jaccard se obtuvo un valor de 39.5%, este valor indica que las comunidades de macroinvertebrados de los ríos Molino y Timbío presentan una diferencia muy alta con respecto a la riqueza de géneros colectados, a pesar de estar dentro de la misma zona altitudinal.

La distribución de similaridad obtenido por la comparación de las comunidades de las áreas muestreadas, muestra un dendograma donde se observa la baja relación entre las estructuras de las comunidades encontradas de macroinvertebrados acuáticos ya caracterizadas de los ríos Molino y Timbío, después de obtener el valor del índice de similitud de Jaccard. (Vorontsov, Kulakovskiy, & Makeev, 2013).

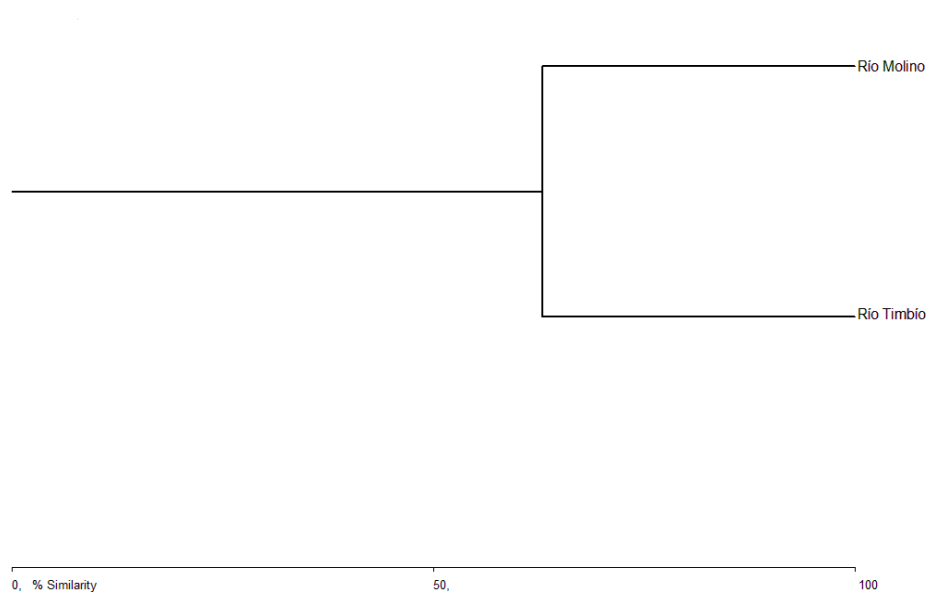


Gráfica 4: Similitud de acuerdo al índice de Jaccard de los ríos Molino y Timbío.

8.3.2 Índice de Sorensen

El índice de Sorensen se relaciona con las abundancias dando como resultado una similitud de 64,7%; en este caso indica que hay una aproximación o un parecido entre los géneros de gran dominancia de las dos regiones muestreadas, ya que el índice relaciona la abundancia de las especies compartidas con la abundancia total entre dos puntos muestreados (ver tabla 4).

El dendograma muestra más fácilmente la relación entre los grupos de géneros más abundantes encontrados con el índice de Sorensen, esta dominancia tiene un marcado aspecto entre las comunidades caracterizadas, ya que en ambas partes se representa más del 70% de los individuos existentes en las muestras en pocos géneros.



Gráfica 5. Similitud de acuerdo al índice Sorensen de los ríos Molino y Timbío.

Con esta tendencia del índice de Jaccard, y los valores del índice de Sorensen para datos cuantitativos, indican que las comunidades dentro de la misma altura no presentan las mismas características a nivel de los géneros presentes, es decir que cada uno de los ríos presenta entornos, hábitats y efectos de perturbación diferentes, medios bióticos y abióticos, como una interrelación entre componentes, que condicionan la presencia de otros grupos de macroinvertebrados entre los 1900 y los 2000 m.s.n.m.

De esta forma se muestra como los componentes antrópicos de los ríos como el deterioro de los bosques de ribera, la agricultura, la ganadería y demás, generan nuevos hábitats, haciendo que la mayoría de poblaciones presentes sean

diferentes de un lugar a otro, ya que a comparación del río Molino, el río Timbío en el punto de colecta, luce zonas donde la cobertura vegetal presenta mayor porcentaje de conservación de sus bosques de ribera, originando que el ecosistema de bosque suministre un sistema de captación y mantenimiento de las comunidades dentro del río.

La diferencia entre las comunidades analizadas, también puede radicar en la forma tan divergente de los hábitats, ya que, las corrientes rápidas y sitios rocosos del río Molino difieren mucho de las aguas más tranquilas y con rocas más pequeñas llegando a grava del río Timbío, o los bosques frondosos de la ribera que ayudan a la acumulación de detritos en el río Timbío, a las desgastadas orillas por carencia de plantaciones de bosque nativo, erosión y pequeños derrumbes del río Molino, de esta manera los hábitats toman un valor relevante entre los valores dados por los índices de similaridad, ya que dos especies pueden estar relacionadas solo por la presencia de un mismo hábitat o por rasgos atractivos o esenciales para ambos (Dice, 1945).

Los valores bajos en los índices de compatibilidad entre los río Molino y Timbío también indican que no han habido interacciones entre las comunidades, pues la distancia existe entre los ecosistemas que los separa es de 12 kilómetros, es por esto los valores de diversidad alfa si se asemejan, ya que, la diversificación se ha dado por la colonización de otros organismos, pues las migraciones entre las poblaciones de uno y otro punto son muy bajas o no se realizan desde los puntos de natalidad, en otras palabras no llegan individuos nuevos ni se van hacia otras partes.

Este fenómeno se presenta cuando la similitud en la composición de especies entre 2 sitios disminuye conforme se incrementa la distancia entre ellos (Whittaker, 1956; Nekola y White, 1999). Este patrón está íntimamente relacionado con las unidades de cambio medio de la similitud con la distancia a lo largo de un gradiente ambiental, ya que la similitud disminuye con la distancia (Calderón y Moreno, 2012), además, la variabilidad de géneros de macroinvertebrados

acuáticos, también, refleja la influencia de los factores macroclimáticos determinados por la variación latitudinal y longitudinal de las precipitaciones y las temperaturas.

En resumen, las comunidades de macroinvertebrados de los ríos Molino y Timbío en la misma zona de vida, similares ecosistemas y condiciones climáticas, han tenido una evolución espacial por separado, la distancia, y las modificaciones antrópicas del ambiente, han llevado a que las comunidades se adaptaran a entornos más acordes a sus necesidades.

9 CONCLUSIONES

- Se colectaron entre los dos ríos 32 familias, 38 géneros en un total de 973 individuos. En el río Molino se colectaron un total de 571 individuos, y en el río Timbío se colectó un de total de 402 individuos, diferenciándose así, los dos ríos en Lepidoptera por el río Molino, Decapoda y Hemiptera en el río Timbío, ya que de resto comparten coleópteros, dípteros, efemerópteros, odonatos, megalópteros, plecópteros y tricópteros.
- La caracterización de MAE's en ambos puntos muestreados de los ríos, mostró porcentajes muy altos de los órdenes más sensibles a la contaminación orgánica y procesos antrópicos en cada uno de los afluentes, como los son los efemerópteros, los tricópteros y los plecópteros, reflejando que las condiciones de los ríos en los puntos muestreados, no han llegado a niveles críticos de contaminación y que aún se encuentran saludables en su biología.
- Las áreas colectadas son ampliamente dominadas por un grupo pequeño de organismos *Anacroneuria*, *Traulodes*, *Leptonema* y *Smicridea*, que representan cerca del 70% del total de las muestras, tal como se observa en el índice de Simpson, esto se debe a que las alteraciones de los ríos son soportables por estos organismos, en cambio, en su contraparte, los valores medio a bajos de diversidad obtenidos por el índice de Shannon-Weaver, se debe a que con una dominancia tan alta de los primeros organismos tienden a ocupar mayor número de hábitats, sin embargo, se encuentran valores de riqueza medianos a altos según el índice de Margalef, ya que se encuentran representantes de órdenes como Coleoptera, Diptera, pues en ambos ríos son los más ricos con respecto a géneros.

- Las comunidades de macroinvertebrados, tras realizar la obtención de los valores de los índices de Jaccard ($J=39\%$) y Sorensen ($S=64\%$) han indicado que la similitud es muy baja, es decir que la estructura de las comunidades no es igual una a la otra, ya que la evolución espacial, los ecosistemas, las condiciones abióticas, entornos, hábitats, efectos de perturbación y la distancia han llevado a que las comunidades colonizaran y evolucionaran en entornos más acordes a sus necesidades.

10 RECOMENDACIONES

- Desarrollado el trabajo se recomienda: realizar estudios de comparación de comunidades de macroinvertebrados acuáticos, en afluentes con distintos tipos de condiciones ya sean topográficas, altitudinales, o afectados por daños antrópicos, de esta forma tener una mejor vista de qué condiciones se deben reunir para que dos comunidades presenten las mismas características o tener un nivel de similaridad relevante.
- Realizar un análisis de la físico-química de las aguas para poderlos contrastar con los datos biológicos y con estos resultados poder adelantar un estudio de calidad biológica del agua por medio de indicadores y el índice BMWP/Col.
- Para futuros estudios comparativos realizar un muestreo en una franja mayor de distancia y una cantidad mayor número de estaciones dentro del río.
- Describir a cabalidad los hábitats, sustratos e impactos ambientales a los que se afrontan las comunidades de macroinvertebrados acuáticos ya que estas comunidades responden a estas variaciones dentro de su entorno.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Anaya, O. (2006). Hidrografia de Timbio. Plan de ordenamiento territorial municipio de Timbío. 2006.
- Ayerbe-Quiñones, F., López-Ordóñez, J. P., González-Rojas, M. F., Estela, F. A, Ramírez-Burbano, M. B., Vladimir, J., y Luís, S. (2008). Aves del departamento del Cauca - Colombia. *Biota Colombiana*, 9(1), p.77-132.
- Badii, M. H., J. Landeros., y E. Cerna. (2008). Patrones de asociación de especies y sustentabilidad, 3(1), p.632-660.
- Baev, P. V. y L. D. Penev. 1995. BIODIV: Program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap and cluster analysis. Sofia Moscow Versión 5.1. Pensoft, 57p.
- Bouza, C. N. (2005). Estimación del índice de diversidad de Simpson en M sitios de muestreo, *Revista Investigación Operacional* Vol. 26, No. 2, 2005.
- Burrial, A. T., y Ocharan, F. J. (2007). Comparación del muestreo de macroinvertebrados bentónicos fluviales con muestreador surber y con red manual en ríos de Aragón (NE Península Ibérica), 26(1), p.13-24.
- Calderón-Patrón, J. M., y Moreno, C. E. (2012). La diversidad beta : medio siglo de avances Beta diversity: half a century of advances, p.879-891. <http://doi.org/10.7550/rmb.25510>. [citado en 7 de diciembre de 2016]
- Campo, A. M., y Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*, 34, p.25-42. http://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071. [citado en 8 de mayo de 2017]

- Campo-Gomes, T. M., y Vidal-Dorado, L. María. (1998). Caracterización físico-química y de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Timbío sector comprendido entre la Unión y Puente Timbío departamento del Cauca, (tesis de pregrado), Fundación Universitaria de Popayán, Popayán-Colombia.
- Castellanos, P. M., y Serrato, C. (2008). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Water Management*, 32(122), p.79-86.
- Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la Vegetación Natural de Colombia. Recuperado a partir de http://www.accefyn.org.co/revista/Volumen_10/40/221-264.pdf Gómez-lópez, D. I. (2007). [citado en 2 de mayo de 2017]
- Dice, L. R. (1945). Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. *Ecology*, 26, p.297-302.
- Decreto 2811 de 1974, Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, República de Colombia, 18 diciembre de 1974.
- Domínguez, E. y H. R. Fernández (Eds.). 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología. Tucumán (Argentina): Fundación Miguel Lillo,. 656 p.
- Fundación Procuencia río las Piedras. (2010). Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la Parte media y alta de la subcuenca río Molino municipio de Popayán. Recuperado a partir de <http://acueductopopayan.com.co/wp-content/uploads/2012/08/analisis-vulnerabilidad-cuenca-molino.pdf>. [citado en 2 de marzo de 2017]

- Gülh, E. (1975). Colombia: Bosquejo de su geografía tropical. Volumen 1. Tapa. Ernesto Guhl. Instituto Colombiano de Cultura, Subdirección de Comunicaciones Culturales, 1975.
- Guevara C., G., Jara S., C., Mercado, M., Elliott, S., 2006. Comparación del macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la reserva costera valdiviana, sur de Chile. Asociación Colombiana de Limnología «Neolimnos», p.98-105.
- Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (eds.) 2005. Sobre Diversidad Biológica: el Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. Zaragoza. m3m-Monografías 3er Milenio, vol. 4. Sea, Conabio, Grupo Diversitas & Conacyt, iv + 242p.
- Holdridge, L. R. (1967). Life Zone Ecology., (rev. ed.), 206. Recuperado a partir de <http://www.cabdirect.org/abstracts/19670604180.html;jsessionid=E82760BE633600B0FC2F82BA1E4D71E2>. [citado en 3 de febrero de 2017]
- Holdridge, L. R. (1978). Ecología basada en zonas de vida. San José-Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas,.216p.
- INVEMAR. 2007. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2006. Santa Marta, Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, 378p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM 2015 recuperado de: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual//document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/299660?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo_y_clima%2Fclimatologico_mensual%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mo

de%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1. [citado en 4 de diciembre de 2016].

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (1999) Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. 43p.

Kent, M., y P. Coker. (1992). Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach. Florida (U.S.A.): CRC Press.

Lehmann A., Pablo; Vega, Milton A. y Mueses C., Heriberto (2005) Listado de las especies de peces para la cuenca alta y media del río Patía, Colombia. Popayán: Universidad del Cauca, Revista Novedades Colombianas.

Margalef, D.R. 1958. Information Theory in Ecology. General Systematics, 3: p.36-71.

Magurran, A.E. (1988). Diversidad ecológica y su medición. Princeton, NJ: Princeton University Press. 200p.

Merritt, R. W., Cummins, K. W., Hunt, K., Company, P., y Wallace, J. B. (1996). An Introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/hunt publishing company, 40-73p. Recuperado a partir de <http://coweeta.uga.edu/publications/221.pdf>. [citado en 2 de febrero de 2017]

Molina, F., y Merle, H. (2010). Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales. Botanica Ecosistemas Agroforestales Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza: M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1., 84p.

- Moya, N., Gibon, F. ., Oberdorff, T., Rosales, C., & 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), p.105-114.
- Mueller-Dombois, y Ellenberg., D. & H. (1974). *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Hawaii: University of Hawaii John Wiley and Sons.
- Municipio de Popayán (2013) Plan de Ordenamiento Territorial. 96 p. recuperado de: <http://popayan.gov.co/ciudadanos/la-alcaldia/planeacion-gestion-y-control/plan-de-ordenamiento-territorial-pot>. [citado en 30 de abril de 2017]
- Municipio de Timbío (2000). Plan Basico de Ordenamiento Territorial. 104p. recuperado_de:<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/timbio/3.PBOT%20TIMBIO%20DIAGNOSTICO%20TERRITORIAL.pdf>. [citado en 7 de diciembre de 2016]
- Nekola, J. C. y P. S. White. 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography*, 26, p.867–878.
- Nieto, L. D. y Mesa, A. M. Cambios en el nivel de contaminación de las aguas del río Molino, municipio de Popayán, departamento del Cauca, Popayán 2003, 93p, trabajo de grado (Biólogo), Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación, departamento de Biología.
- Rocha, Z. (2003). Los macroinvertebrados acuaticos. Recuperado a partir de <http://www.revistasjdc.com/main/index.php/ccient/article/viewFile/124/119>. [citado en 22 de mayo de 2017]
- Roldan,P, G., y Ramirez, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Tropical*. Medellín: Universidad de Antioquia, 2008. 440p.

- Roldán P, G. (2009). Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos Colombian Limnology Development: Four decades of progressive advancements. *Actualidades Biologicas*, 31(91), p.227-237.
- Roldán P, G. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín: Universidad de Antioquia, 1996. 217p.
- Roldan P, G. (1985). Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes con especial referencia a su fauna de efemerópteros. *Actualidades Biologicas*, 9. p.103-117.
- Rosenverg, D. M., y Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. London: Chapman & Hall.
- Salazar Nieto, L. D., y Meza Ortiz, A. M. (2003). Cambios en el nivel de contaminación de las aguas del río Molino, municipio de Popayan, departamento del Cauca.
- Sanhueza, A. (2010). Comparación de dos comunidades de macroinvertebrados acuáticos bajo un bosque siempreverde y una plantación de *Pinus radiata* D. Don en la provincia de Valdivia. (tesis de pregrado), Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile.
- Segnini, S. (2003). El uso de macroinvertebrados béntonicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*, 16(2), p.45-63.
- Shannon, C.E. y Weaver, W (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois.
- Simpson E. H. (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688p.
- United Nations. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica, Naciones Unidas, Río de Janeiro 1992.

- Vorontsov, I. E., Kulakovskiy, I. V, y Makeev, V. J. (2013). Jaccard index based similarity measure to compare transcription factor binding site models. *Algorithms for Molecular Biology*, 8(1), 1. <http://doi.org/10.1186/1748-7188-8-23>. [citado en 12 de diciembre de 2016]
- Whittaker, R. H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecological Monographs* 26: p.1-80.
- Wilson, M. V. y A. Shmida. 1984. Measuring beta diversity with presence-absence data. *J. Ecology*,72: p. 1055-1064.
- Zamora, H. (2007) El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua, en los ecosistemas acuáticos epicontinentales de Colombia. *Rev. de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas ACCB*. p.7-9.
- Zamora, H. (2000). Analisis Biogeografico de los Macroinvertebrados Acuáticos en Departamento del Cauca. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 14, p.37-64.
- Zamora, H. (1998). Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación domestica. *Unicauca Ciencia*, 3, p.35-46.
- Zamora, H., y Naundorf, G. I. (1990). Efecto excluyente de la contaminación doméstica sobre los macroinvertebrados del río Molino. Popayán: Universidad del Cauca.
- Zúñiga, C., Chará, J., Giraldo, L. P., Serna, A. M. C., y Pedraza, X. (2013). Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región Andina Colombiana , con énfasis en la entomofauna Colombia, *Revista Dugesiana* 20 (2), p.263-277.

12 ANEXOS

Imágenes de los macroinvertebrados más abundantes de los ríos Molino y Timbío.



Imagen 17.

Familia: *Corydalidae*

Género: *Corydalis*



Imagen 18.

Familia: *Leptophlebiidae*

Género: *Thraulodes*



Imagen 19.

Familia: *Libellulidae*

Género: *Breshmoroga*



Imagen 20.

Familia: *Calopterygidae*

Género: *Hetearina*



Imagen 21.

Familia: Hidropsychidae

Género: *Leptonema* sp



Imagen 22.

Familia: Tricorytidae

Género: *Leptohyphes* sp



Imagen 23.

Familia: Leptophlebiidae

Género: *Thraulodes* sp.



Imagen 24.

Familia: Psephenidae

Género: *Psephenops* sp.

Imagen 25.

Familia: Perlidae

Género: *Anacroneuria* sp.