



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE  
MACROINVERTEBRADOS EN EL TRAMO PADRE CAROLLO-  
PAUS DE LA MICROCUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO BLANCO,  
MORONA SANTIAGO.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

**CARLA JASMIN MIRANDA GUEVARA**

**RIOBAMBA- ECUADOR**

**2018**

©2018, Carla Jasmin Miranda Guevara

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

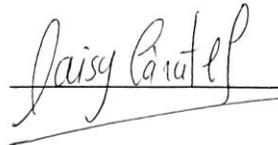
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que el trabajo de investigación: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS EN EL TRAMO PADRE CAROLLOPAUS DE LA MICROCUENCA HIDROGRAFICA DEL RÍO BLANCO, MORONA SANTIAGO** de responsabilidad de la señorita Carla Jasmin Miranda Guevara, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**Ing. Luis Alberto Quevedo Báez. Ph.D**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



**Dayssy Maritza Cárate Tandalla Ph.D**  
**ASESOR DEL TRIBUNAL**



Riobamba, 28 de Junio del 2018

## AUTORÍA

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual de la autora y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.



---

CARLA JASMIN MIRANDA GUEVARA

## **AUTORÍA**

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual de la autora y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.

---

**CARLA JASMIN MIRANDA GUEVARA**

## **DEDICATORIA**

*A mi Mamá por ser el motor fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional, su paciencia, confianza y por ser un gran ejemplo para mí.*

*A todos aquellos que confiaron en mí, me motivaron y me brindaron su apoyo cuando más lo necesite.*

*A mis maestros de los cuales tengo gratos recuerdos y enseñanzas en mi formación profesional*

*Carla Miranda Guevara*

## **Agradecimiento**

*A mi madre por ser la mujer que es, por su fortaleza por siempre conmigo a pesar de la distancia.*

*A mis amigos y aquellas personas que pudieron brindarme su apoyo en el transcurso de éste trabajo, gracias por todo su ayuda.*

*A la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH por permitirme formarme como profesional.*

*A mi asesora Dayssy Cárate por todo su apoyo y dedicación, a mi tutor Ing Luis Quevedo.*

## TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pág.
LISTA DE TABLAS .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	iii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	iv
I. TÍTULO.....	1
II. INTRODUCCIÓN .....	1
A. JUSTIFICACIÓN .....	4
B. OBJETIVOS .....	5
1. Objetivo General.....	5
2. Objetivos Específicos .....	5
C. HIPÓTESIS .....	5
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	6
A. CUENCA HIDROLÓGICA .....	6
1. Cuenca hidrográfica como un Sistema .....	6
2. Clasificación de las cuencas hidrográficas .....	8
a. Unidades de la Cuenca Hidrográfica .....	8
3. Interrelaciones de una cuenca hidrográfica.....	9
a. Relación Agua – Suelo – Planta .....	10
b. Interrelaciones entre infraestructura Física-Población- Medio Ambiente .....	11
B. LA ACCIÓN ANTROPOGÉNICA Y LOS FENÓMENOS NATURALES EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	12
1. Alteraciones de Origen Antropogénico .....	12
2. Alteraciones de Origen Natural .....	14
C. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS .....	15
B. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA.....	16
1. Potencial de hidrógeno (pH) .....	16
2. Oxígeno disuelto .....	17

3.	Conductividad eléctrica .....	17
4.	Temperatura (°C) del agua.....	18
D.	LOS MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES .....	18
E.	MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICO Y LA CALIDAD DE AGUA.....	20
1.	Biología de los macroinvertebrados .....	21
2.	Hábitat de los macroinvertebrados. ....	22
3.	Alimento de los macroinvertebrados. ....	23
4.	Relación de los factores fisicoquímicos del agua con la fauna acuática .....	23
F.	EL MÉTODO BIOLÓGICO: Biological Monitoring Working Party (BMWP) .....	24
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
A.	CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR .....	26
1.	Localización.....	26
2.	Ubicación geográfica .....	27
3.	Características climáticas.....	27
4.	Clasificación ecológica .....	27
B.	MATERIALES .....	28
1.	Materiales de campo .....	28
2.	Materiales y equipos de oficina e informáticos .....	28
3.	Material experimental .....	29
C.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	29
D.	METODOLOGÍA.....	30
1.	Delimitación del área de estudio.....	30
2.	Selección de sitios para muestreo .....	30
3.	Parámetros analizados.....	31
4.	Recolección de muestras y medición.....	32
a.	Parámetros Físico Químicos .....	32
b.	Muestreo de Macroinvertebrados .....	32
c.	Preservación y preparación.....	33
d.	Cálculo del índice BMWP e interpretación de resultados .....	34
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36

1.	CALIDAD DE AGUA.....	36
1.	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.....	39
2.	RIQUEZA DE INVERTEBRADOS .....	40
VI.	CONCLUSIONES .....	47
VII.	RECOMENDACIONES.....	49
VIII.	RESUMEN.....	50
IX.	SUMMARY .....	51
X.	BIBLIOGRAFÍA .....	52
XI.	ANEXOS .....	57

## LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	Pág.
	<b>Tabla 1.</b> Sensibilidad Calidad de Agua.....	25
	<b>Tabla 2.</b> Diseño experimental del muestreo.....	29
	<b>Tabla 3.</b> Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para aplicar el índice BMWP ..	34
	<b>Tabla 4.</b> Clases para interpretar la calidad de agua según índice BMWP .....	35
	<b>Tabla 5.</b> Índice BMWP en el tramo Padre Carollo-Paus .....	36
	<b>Tabla 6.</b> Valores Físico Químicos obtenidos en el monitoreo .....	39
	<b>Tabla 7.</b> Análisis de Varianza. (Significación: $P < 0,05$ *, $< 0,01$ **, $> 0,05$ NS)... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
	<b>Tabla 8.</b> Riqueza total de macroinvertebrados e Índices de diversidad.....	41
	<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza entre muestreos (Significación: $P < 0,05$ *, $< 0,01$ **, $> 0,05$ NS) .	42
	<b>Tabla 10.</b> Pruebas Post Hoc, HSD Tukey entre sitios de estudio (Significación: $P < 0,05$ *, $< 0,01$ **, $> 0,05$ NS). Comparaciones multiples de la riqueza de organismos/especies en los sitios de estudio.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	Pág.
	<b>Figura 1.</b> Sistema de la Cuenca Hidrográfica dentro del Ambiente .....	7
	<b>Figura 2.</b> Unidades de la Cuenca Hidrográfica.....	9
	<b>Figura 3.</b> Ciclo de vida de los macroinvertebrados a) Ciclo de vida en el agua b) Ciclo en el agua y en la superficie .....	22
	<b>Figura 4.</b> Mapa de ubicación del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco .....	26
	<b>Figura 5.</b> Red de mano o “D-net” .....	33
	<b>Figura 6.</b> Macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua en el tramo Padre Carollo-Paus .....	37
	<b>Figura 7.</b> Abundancia de macroinvertebrados ordenados en familia en los tres tramos del área de estudio.....	38
	<b>Figura 8.</b> Relación de calidad de agua en los tramos. ....	44
	<b>Figura 9.</b> Relación de calidad de agua y el sustrato de los tramos. ....	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

Nº	DESCRIPCIÓN	Pág.
<b>Anexo 1.</b>	Identificación y georreferenciación de los puntos de muestreo.....	57
<b>Anexo 2.</b>	Colecta y almacenamiento de macroinvertebrados.....	57
<b>Anexo 3.</b>	Medición de variables fisicoquímicas in situ.....	58
<b>Anexo 4.</b>	Limpieza de muestras .....	58
<b>Anexo 5.</b>	Identificación taxonómica con ayuda del estereoscopio.....	59
<b>Anexo 6.</b>	Codificación de familias .....	59
<b>Anexo 7.</b>	Cálculo del índice BMWP en el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco .....	60
<b>Anexo 8.</b>	Macroinvertebrados colectados en el tramo Padre Carollo .....	61
<b>Anexo 9.</b>	Macroinvertebrados colectados en el tramo Río Blanco .....	62
<b>Anexo 10.</b>	Macroinvertebrados colectados en el tramo Paus.....	63
<b>Anexo 11.</b>	Calidad del agua del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco .....	64

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
<b>Sal</b>	Salinidad
<b>TDS</b>	Total de Sólidos Disueltos
<b>CE</b>	Conductibilidad Eléctrica
<b>pH</b>	Potencial Hidrógeno
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>BMWP</b>	Biological Monitoring Working Party
<b>m.s.n.m</b>	Metros sobre el nivel del Mar
<b>uS</b>	Micro Siemens/cm
<b>P(n)</b>	Punto
<b>R(n)</b>	Repetición
<b>M(n)</b>	Numero de muestreo
<b>INEC</b>	Instituto nacional de Estadística y Censo
<b>GAGPRB</b>	Gobierno Autónomo Parroquial Río Blanco
<b>FRN</b>	Facultad de Recursos Naturales
<b>EIF</b>	Escuela de Ingeniería Forestal
<b>ESPOCH</b>	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

# **I. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS EN EL TRAMO PADRE CAROLLO-PAUS DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BLANCO, MORONA SANTIAGO**

## **II. INTRODUCCIÓN**

Los ríos constituyen un elemento fundamental en nuestro patrimonio natural y constituyen ecosistemas complejos y dinámicos donde el agua, la flora y la fauna juegan un papel importante en el equilibrio y funcionalidad del ambiente. Los ríos son además considerados hábitats preferenciales para la recreación de la sociedad, protección de la naturaleza y la biodiversidad, control climático y seguridad, todo ello frente a las amenazas naturales como inundaciones y efectos del cambio climático (Vidal & Romero, 2010). Sin embargo, estos ecosistemas han sufrido un importante deterioro ecológico desde mediados del siglo pasado debido fundamentalmente a la regulación de los caudales, los encauzamientos, la ocupación de las riberas, la agricultura, la industria y la urbanización ocasionando la destrucción de los cuerpos de agua por medio de la modificación de los componentes del ciclo hidrológico, los volúmenes y calidad del agua (Ordóñez , Benavente & Cañaveras, 2016). Como resultado de este deterioro, cerca del 80 por ciento de la población a nivel mundial se encuentra actualmente afectada por la degradación de los ríos (Cedeño, 2016).

Los ríos en el Ecuador sustentan el desarrollo de numerosas actividades como es el caso de las industrias agrícolas y ganaderas sin tener en cuenta el impacto que estas generan en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos causando problemas ambientales como la contaminación de ríos y lagos, disminución de caudales o pérdida de diversidad biológica asociados al agua dulce (Prado, 2015)

La provincia de Morona Santiago ha sufrido fuertes perturbaciones de sus ríos a lo largo de últimos 30 años, principalmente por la actividad minera, así como las aguas residuales de las comunidades, las mismas que, han afectado considerablemente la ecología de los ríos, causando alteraciones en la microfauna y la calidad del agua indispensable para el desarrollo agrícola, pecuario, forestal y cultural que se desarrollan en la comunidad de la parroquia Rio Blanco. Muchas de las perturbaciones ya sean naturales o antropogénicas afectan el hábitat de las poblaciones de macroinvertebrados (Deley & Santillán, 2016) por lo que la presencia de estos organismos se ha convertido en un indicador de las condiciones biológicas de esas aguas.

Las cuencas hidrográficas están caracterizadas por las interacciones geomorfológicas, hidrológicas y biológicas que determinan las poblaciones de macroinvertebrados utilizados para determinar la calidad del agua (Gil, 2014). Los organismos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas (morfológico, fisiológico o etológico) en diversas condiciones ambientales como el amplio rango de tolerancia a contaminantes. Debido a estas características peculiares los macroinvertebrados acuáticos, dentro de la vigilancia y control de la contaminación del agua, son muy útiles como bioindicadores de los cuales es posible obtener información sobre alteraciones que existieron tiempo atrás y que existen en el presente (Pavón & Rocha, 2015).

Algunos estudios han sido realizados en su mayoría en regiones altas (> 2000 msnm), y han sido descritos de manera extensa desde hace varias décadas para determinar la calidad de aguas que sale de los páramos y que sirven como recursos a las poblaciones aledañas. Este tipo de estudios se ha realizado en las regiones altoandinos del Parque Nacional Cajas (provincia de Azuay), Jubal (Chimborazo, Cañar, Tungurahua), Ozogoché (Chimborazo), Río Otonga (Pichincha), Río Antisana (Napo), Río Pilalo (Cotopaxi) y han permitido determinar que los cambios o deterioros en los ecosistemas acuáticos reducen constantemente las familias de macroinvertebrados y la biodiversidad local y regional. En general la ecología de los ríos en las zonas altas del Ecuador ha permitido una gran diversidad de estudios de macroinvertebrados que reaccionan ante diferentes épocas y caudales como varios estudios realizados por Dangles *et al* (2011), en el museo de invertebrados (QCAZI),

y otros como los publicados por Arroyo & Encalada (2009) en el colegio de biología (USFQ), entre otros. A pesar de que los sistemas dulceacuícolas abarcan una gran extensión de los ecosistemas ecuatorianos a varias altitudes son pocos los estudios de macroinvertebrados realizados en zonas bajas o tropicales que permitan conocer su dinámica y sensibilidad ante factores como la altitud y temperatura (Sánchez, 2015).

## **A. JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años se ha enfatizado el estudio de las poblaciones de macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua. En el presente estudio se pretende generar información que permita caracterizar estas poblaciones con el fin de evaluar su presencia e influencia en la calidad del agua de un ecosistema tropical de la parroquia Río Blanco en la provincia de Morona Santiago debido a que los macroinvertebrados son organismos sumamente sensibles y responden rápidamente a estímulos naturales y antropogénicos. Este estudio permitirá dar a conocer un inventario de los macroinvertebrados y la ponderación de las especies bioindicadores de calidad del agua en el tramo de un río el cuál es tan indispensable para el desarrollo económico de la zona de estudio. Además, permitirá contribuir con información para la elaboración y realización de un adecuado de manejo de la microcuenca del Río Blanco.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo General**

Evaluar la calidad del agua por medio de un inventario de macroinvertebrados como bioindicadores en el tramo Padre Carollo-Paus de la Microcuenca Hidrográfica del Río Blanco, provincia de Morona Santiago.

### **2. Objetivos Específicos**

- Identificar las comunidades de macroinvertebrados encontrados en el área de estudio y su relación con la situación actual del agua.
- Determinar la calidad del agua en el tramo Carollo-Paus del Río Blanco, mediante el índice biológico Biological Monitoring Working Party (BMWP).

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis Alternante**

Las actividades antropogénicas no afectan la comunidad de macroinvertebrados y la calidad del agua de la Microcuenca está intacta

### **2. Hipótesis Nula**

Las actividades antropogénicas afectan la comunidad de macroinvertebrados y la calidad del agua de la Microcuenca está siendo deteriorada.

### **III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **A. CUENCA HIDROLÓGICA**

Es todo el territorio compuesto por un sistema hídrico en la cual el agua que proviene de las lluvias se transporta a las zonas bajas mediante drenaje que concentra sus aguas en un colector y este las descarga a otras cuencas o al océano. Esta superficie se encuentra demarcada por la línea divisoria de agua (Breña & Jacobo, 2006).

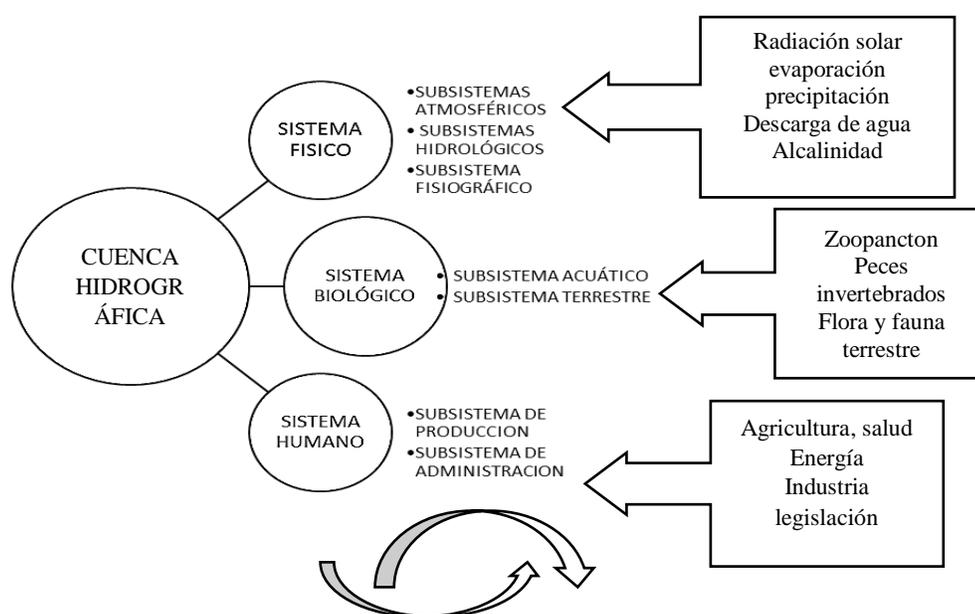
Desde el punto de vista hidrológico la cuenca ha sufrido una evolución hasta llegar a una perspectiva integral de la misma en la cual a más de la interacción hidrológica sobresalen otros aspectos ya sean culturales, socioeconómicos, productivos, etc. Los mismos que demarcan al humano como el eje central para el manejo de la cuenca hidrológica (Zury, 2008).

Dentro de la cuenca hidrográfica están presentes recursos naturales e infraestructura establecida por el hombre desarrollándose así actividades que generan consecuencias positivas y negativas para el bienestar de sus habitantes. Es así como todos los lugares de la tierra pertenecen a una cuenca hidrográfica (Carrie, 2012).

#### **1. Cuenca hidrográfica como un Sistema**

Un sistema es un conjunto de partes coordinadas para lograr un conjunto de objetivos (Pérez,1981).

La Figura 1 indica la relación que permite establecer la cuenca hidrográfica como un sistema contenido dentro de otro (el ambiente) y compuesto por las interacciones de los subsistemas biofísico, social y económico cuyo fin principal es producir bienestar a la sociedad que la gobierna. Este bienestar está constituido por la cantidad y calidad de agua, energía, insumos de producción, alimentos, recreación, belleza paisajística y conservación de los recursos, que el sistema de la cuenca hidrográfica pueda producir. De la magnitud en calidad y cantidad de las interacciones de los subsistemas, surgen la dimensión de su cobertura y nivel de complejidad en una cuenca hidrográfica (Londoño, 2001).



**Figura 1.** Sistema de la Cuenca Hidrográfica dentro del Ambiente

Fuente (Londoño, 2001)

Una cuenca hidrográfica es un ente que emite y recibe acciones dentro del contexto de tres subsistemas (económico, social y biofísico) los cuales determinan la extensión temporal y compleja de cada situación particular (Batlle & Golladay, 2001). Este intercambio de efectos internos y externos dentro de una cuenca hidrográfica dificulta definir una cuenca en términos de un solo parámetro. En este sistema abierto existen influencias y dependencias entre y hacia los elementos de los subsistemas lo cual se manifiesta en una dinámica de comportamiento que puede llegar a ser compleja y que obliga a analizarla en forma integral (Londoño, 2001).

## **2. Clasificación de las cuencas hidrográficas**

La clasificación de las cuencas hidrográficas por categoría ha sido tradicionalmente hecha de acuerdo con la clasificación propuesta por Sánchez (1995). A continuación se mencionan las definiciones más importantes de esta clasificación:

- Microcuenca: área determinada por divorcios de agua, con una superficie menor o igual a 10.000 Ha.
- Cuenca pequeña: área con una superficie mayor a 10.000 Ha., pero menor o igual a 100.000 Ha.
- Cuenca mediana: le corresponde una superficie mayor a 100.000 Ha., pero menor o igual a 500.000 Ha.
- Cuenca grande: es aquella que tiene una superficie mayor de 500.000 Ha, pero menor o igual a 1.000.000 Ha.
- Cuenca muy grande: es la que tiene una superficie mayor a 1.000.000 de Ha.

### **a. Unidades de la Cuenca Hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas están compuestas por unidades determinadas que se utilizan para caracterizarlas mejor. En la Figura 2, elaborada por Zury (2008) se muestran las unidades menores que conforman una cuenca hidrográfica.



**Figura 2.** Unidades de la Cuenca Hidrográfica

Fuente (Zury, 2008)

a) Subcuencas: unidades intermedias que poseen entre 150 a 1000 km<sup>2</sup>, donde las aguas superficiales y subterráneas alimentan a las cuencas. Por lo general las componen aquellas cuencas de segundo orden en adelante (Figura 2).

b) Microcuencas: unidades formadoras de la subcuenca, que forman el espacio práctico donde se ejecutan los proyectos diseñados para la cuenca y subcuenca. Varios autores concuerdan que el tamaño de las microcuencas se encuentra entre los 15 y 150 km<sup>2</sup>.

### **3. Interrelaciones de una cuenca hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca hidrográfica es evidente en muchos casos (Londoño, 2001).

### **a. Relación Agua – Suelo – Planta**

Los factores que controlan el flujo hidrológico se pueden dividir en transitorios y permanentes (Londoño, 2001). Los factores transitorios se presentan como la intercepción, la evaporación, la infiltración, el tipo de precipitación (intensidad, cantidad, duración), y la capacidad de almacenamiento del sustrato y del suelo. Dentro de los factores permanentes se encuentran las características del cauce (sección, rugosidad, pendiente), red de drenajes (densidad, longitud) y características de la cuenca (tamaño, forma, pendiente, morfología y relieve). Un factor intermedio que influye notoriamente en el flujo hidrológico son los usos del suelo según el tipo de cultivo y las prácticas agrícolas que se apliquen, la vegetación arbórea y arbustiva y las superficies impermeabilizadas (Cedeño, 2016).

Con respecto a la vegetación, la deforestación en el área receptora con relación al agua facilita la acción impermeabilizante de las gotas de lluvia y de la escorrentía, y el mayor escurrimiento superficial. Reduce el tiempo de concentración y aumenta el caudal máximo de crecida aumentando el riesgo de inundaciones. Reduce la infiltración y por lo tanto la capacidad reguladora del escurrimiento freático e hipodérmico que alimenta los manantiales y los cursos de agua provocando caudales mínimos más acentuados, aumentando las pérdidas de agua por evaporación, disminuyendo el aporte de agua por el fenómeno de intercepción afectando la calidad del agua para consumo humano (Londoño, 2001).

La acción de la deforestación sobre la fauna trae como consecuencia la destrucción del hábitat de muchas especies animales, especialmente la avifauna (Londoño, 2001). La alteración de las cadenas tróficas, migración de especies animales, el decaimiento y desaparición de especies animales (tanto a nivel macro como micro), la proliferación de especies animales indeseables y el desecamiento de pantanos y lagos que conlleva a la afectación del hábitat de especies animales (Casilla, 2014).

La cubierta vegetal tiene dos funciones importantes en relación con el agua y con el suelo: primero, protege el suelo del impacto y escurrimiento erosivo de las aguas y segundo, incrementa la capacidad de infiltración, retención y almacenamiento de agua en el suelo (Roldán, 2009), los ecosistemas forestales tropicales con su flora y fauna, es un usuario importante del agua, pero también proporciona beneficios enormes a la humanidad: desde aves, madera, leña, medicinas y fijación del carbono, existe todo un tesoro de productos de la biodiversidad forestal pero la contribución más significativa de los bosques para todos los seres vivos consiste en mantener una elevada calidad del agua.

#### **b. Interrelaciones entre infraestructura Física-Población- Medio Ambiente**

Las interrelaciones en una cuenca hidrográfica también se ponen en evidencia cuando se construyen obras de infraestructura física como cuando se construyen represas, nuevos asentamientos humanos, alcantarillas y otras construcciones para fines múltiples. En el caso de una represa los impactos ambientales y económicos se pueden describir y analizar en la siguiente secuencia: 1) los habitantes del área donde se establece la represa son desplazados a tierras ubicadas aguas arriba o a la planicie de inundación ubicadas aguas abajo. 2) La migración aumenta la presión de la población en zonas marginales y de altas pendientes, incrementando la erosión del suelo, 3) las actividades en las zonas altas (labores agrícolas, forestales, construcción de caminos y de asentamientos) causan erosión en el suelo y contaminación de las aguas, por sedimentos y productos químicos (Londoño, 2001) (Pavón, 2015). 4) Consecuentemente el deterioro de los ecosistemas genera pérdida de la biodiversidad, así como la invasión de especies exóticas (Pavón, 2015).

## **B. LA ACCIÓN ANTROPOGÉNICA Y LOS FENÓMENOS NATURALES EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

Las relaciones entre la población, el medioambiente y el desarrollo se han analizado desde hace tiempo ya que los problemas ambientales surgen de la interacción entre los procesos naturales y procesos sociales, económicos y culturales (Londoño, 2001). Las cuencas hidrográficas son unidades físicas complejas debido a que sostienen asentamientos humanos y se ven sometidos a los efectos de la actividad antropogénica complicando aún más la situación por la dificultad de reducir la degradación ambiental. Cualquier acción puede acrecentar la vulnerabilidad a los desastres naturales de una cuenca hidrográfica y perjudicar a las poblaciones aledañas. El grado de degradación dependerá del nivel social, de las actividades económicas y productivas prevalecientes, y de las condiciones ecológicas. Es decir, la cuenca hidrográfica puede sufrir alteraciones de su estado natural que pueden ser originadas por la acción del hombre o, bien, debido a fenómenos naturales (Alava, 2009).

### **1. Alteraciones de Origen Antropogénico**

El hecho de que muchos de los recursos sean renovables no quiere decir que sean también inagotables. Los excesos de uso de la utilización de estos recursos naturales crean una necesidad de explotación de áreas que satisfagan las demandas del crecimiento económico de las poblaciones humanas como es el caso de los bosques primarios. Los suelos, el agua y los bosques son claros ejemplos de esta realidad, ya que han sido explotados sin dar lugar a una actividad de recuperación. En términos de mercado se puede decir que estamos viviendo del capital y no del interés (Maas, 2003).

Las diversas actividades agrícolas, mineras o industriales, así como otras obras de infraestructura física provocan alteraciones en el sistema natural, sobre el suelo, el agua y particularmente el aire. De estos efectos uno de los más importantes es la reducción del área agrícola aprovechable. En términos de superficie y fertilidad gran parte de la cubierta que es extraída modifica su acción protectora frente a la lluvia y con ello la pérdida de suelo. Estos aspectos junto con otros se traducen en dificultades económicas afectan a toda la comunidad presente en la cuenca (Maas, 2003).

El uso agrícola de los recursos naturales es el más difundido también en los trópicos y su carácter es extractivo debido a la urgencia de atender las necesidades alimenticias de los seres humanos. Dentro de las actividades agrícolas que afectan a la cuenca se encuentra la adecuación del suelo, la utilización de insumos físicos, químicos y mecánicos, el pastoreo, uso de plaguicidas, entre otros. Algunos de los impactos a los cuales nos vemos afectados por el uso agrícola es la erosión, la compactación, la salinización del suelo y la contaminación del agua (Blackburn *et al*, 1982 en FAO, 1997).

La presencia de bosques en buenas condiciones es de gran importancia ya que los bosques albergan un sin número de organismos conviviendo y regulando los flujos de energía por medio de las relaciones interespecíficas, además los bosques proveen de alimento y materia prima, protegen al suelo y son convertidores del dióxido de carbono. Los bosques poseen una alta capacidad de retención de agua por intercepción y retención superficial en la hojarasca que favorece la infiltración del agua en el suelo y la percolación en el subsuelo que en conjunto disminuyen la escorrentía superficial ayudando a mantener y mejorar los estándares de cantidad, calidad y flujo permanente de los sistemas hidrológicos. Las actividades de aprovechamiento maderero de los bosques por lo contrario exponen muchas veces el suelo a la erosión ocasionando una pérdida de la fertilidad del suelo y sus nutrientes e incrementando la escorrentía y la contaminación de los cursos de agua (Londoño, 2001).

El desarrollo urbano ejerce gran influencia sobre los ciclos hidrológicos de las cuencas ya que el crecimiento demográfico y los movimientos migratorios son cada más intensos. Los procesos urbanísticos son responsables de varios efectos sobre el ambiente tales como: alteración de la composición de la atmósfera, los parámetros hidrológicos de la cuenca, la geomorfología de los cauces y otros cuerpos de agua, así como de las condiciones naturales del suelo. Con respecto a la disposición final de aguas residuales en áreas urbanas la mayoría de los municipios del país la realiza en corrientes superficiales (Londoño, 2001).

La minería es una actividad que ya sea subterránea, abiertas o superficial de igual manera afectan en gran escala el ambiente natural de la cuenca. Todos los impactos que esta actividad ocasionan efectos en la fisiología del suelo, agua, aire, la biota y en general de todos los ecosistemas debido a la degradación de los ecosistemas por medio de la destrucción de habitas naturales (Grimes, 1975 en FAO, 1997). La minería produce cambios topográficos que alteran completamente el sistema de drenaje de las cuencas especialmente de los cauces de orden inferior (superficie más baja por el que avanza el río). Las actividades mineras en general alteran la composición química ambiental al exponer el suelo a la acción del intemperismo y por la producción de desechos, muchas veces tóxicos (Londoño, 2001).

## **2. Alteraciones de Origen Natural**

Los fenómenos naturales de tipo tectónico, climático, geomorfológico e hidrológico representan elementos que han modelado el paisaje mediante su acción a lo largo de millones de años (Alonso, 2006) que generan con mayor o menor probabilidad, riesgos que pueden producir una catástrofe social por causa de un proceso natural. Ante su magnitud e intensidad, las opciones de intervención humana se reducen a la prevención usando métodos de zonificación y de alerta (Londoño, 2001).

El proceso natural de erosión transporte y sedimentación es un ejemplo claro de esta situación y constituye una forma de adaptación del relieve a una nueva condición de equilibrio. Fenómenos como las erupciones volcánicas y sismos no pueden ser impedidos pero sus efectos pueden mitigarse o reducirse a través de una adecuada planificación territorial (Fernández, 2011).

### **C. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS**

Los ecosistemas acuáticos pueden ser de dos tipos: 1) marinos, si se presentan en las aguas oceánicas; y 2) dulceacuícolas, si estos pertenecen a las aguas continentales dentro de arroyos, ríos o lagos (Roldán, 2009).

Como en cualquier otro ecosistema, la vida de los organismos acuáticos depende del intercambio de materia y energía que se presente entre ellos, de los materiales disueltos en el agua y de la temperatura de esta (Fernández, 2011) por lo que los factores abióticos influyen mucho en la estabilidad de estos ecosistemas.

Las aguas dulces constituyen un hábitat donde viven y se desarrollan gran variedad de seres vivos los cuales dependen del agua para su subsistencia debido al mínimo contenido de sales disueltas. Dentro de las masas continentales se distingue las agua lenticas o estancadas como las aguas de charcas y pantanos, y aguas lólicas o corrientes en las que se incluyen los ríos, manantiales, y riachuelos ( Bucher, Castro, & Floris, 1997). La distribución de los ríos en el Ecuador es muy particular debido a su ubicación geográfica, permitiendo gran biodiversidad en los ecosistemas de las zonas altas y las bajas.

## **B. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA**

Las principales desventajas de determinar la calidad del agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos según Leiva (2004) radica en parte en el costo elevado de estos análisis. La información proporcionada con los resultados de estos análisis es puntual y transitoria. Por otro lado, Roldán (2009) manifiesta que los parámetros a los cuales los organismos muestran más sensibilidad cuando habitan ríos o aguas corrientes son a menudo el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y la temperatura. Los mismos que pueden ser alterados debido a las alteraciones producidas por los humanos.

### **1. Potencial de hidrógeno (pH)**

El potencial Hidrógeno (pH) es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas, mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia y tiene una amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Al encontrarse relacionado con la concentración de protones ( $H^+$ ) sus valores extremos pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna al desnaturalizar mecanismos biológicos, reacciones secundarias dañinas como cambios la solubilidad de nutrientes y formación de precipitados (Allan & Castillo, 2007).

El agua de lagos, lagunas y ríos sanos generalmente tiene un pH entre un rango de 6 y 8 en los límites de la neutralidad. Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica que el agua es demasiado básica. La mayoría de los peces tolera el agua con pH entre 6 y 9 mientras que los peces más robustos y fuertes generalmente mueren en rangos de pH más bajos y más altos a su rango de tolerancia (Allan & Castillo, 2007).

## **2. Oxígeno disuelto**

Es la cantidad de Oxígeno libre en el agua que no se encuentra combinado ni con el hidrógeno (formando agua) ni con los sólidos existentes en el agua. La determinación de oxígeno disuelto es importante en el control de aireación y el tratamiento de aguas y se mide en miligramos sobre litro (mg/L), en partes por millón (ppm) y en porcentaje (%) de saturación (Sierra, 2011). El Oxígeno Disuelto (OD) es un parámetro crítico para caracterizar la salud de un sistema acuático. Esta es una medida del oxígeno disuelto en el agua el cual es aprovechable para los peces y otros organismos acuáticos (Corbet, 1999).

El contenido de OD resulta de las actividades fotosintéticas y respiratorias de la flora y fauna en el ecosistema, y la mezcla de oxígeno atmosférico con aguas a través del viento y la acción de la corriente del arroyo (MacDonald *et al*, 1991).

## **3. Conductividad eléctrica**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas (electrolitos) en agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Vernon, 1985).

#### **4. Temperatura del agua**

Las propiedades lumínicas y calóricas de un cuerpo de agua están influidas por el clima y la topografía tanto como por las características del propio cuerpo de agua: su composición química, suspensión de sedimentos y su productividad de algas. La temperatura del agua regula en forma directa la concentración de oxígeno, la tasa metabólica de los organismos acuáticos y los procesos vitales asociados como el crecimiento, la maduración y la reproducción (Jill *et al.*, 2003).

Las altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna acuática al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización (Portuguez *et al.*, 2013).

#### **D. LOS MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES**

La evaluación de la calidad del ambiente y de las comunidades acuáticas han sido desarrolladas por los posibles efectos de una alteración de las condiciones del medio en el cual una comunidad de macroinvertebrados habita. Las comunidades pueden ser identificadas en diferentes niveles. Es decir, si las alteraciones son de tamaños considerables los efectos serán claramente notorios a nivel de la comunidad entera y puede dar a lugar a cambios de magnitudes mayores como la desaparición de algunas o todas las especies. Mientras que otras perturbaciones más ligeras no modificarían la estructura de la comunidad o muchos de estos cambios pueden ser imperceptibles. Cuando se trata de estimar o determinar la calidad ambiental en general son aplicados los procedimientos fisicoquímicos clásicos para denotar el grado de calidad o afectación del parámetro estudiado (Roldán, 2009).

El bio-monitoreo es el conjunto de técnicas que se basan en la reacción y sensibilidad de distintos organismos vivos a diversas sustancias contaminantes presentes en el ambiente. Es decir, es la evaluación de los efectos mortales de una sustancia tóxica sobre ciertos organismos. La toxicidad de un compuesto se mide a través de diferentes parámetros biológicos como las alteraciones en el desarrollo y en funciones vitales, entre otros. Los macroinvertebrados son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad debido a su amplia distribución geográfica y la sensibilidad de muchos taxa a diferentes contaminantes (Resh, 2008).

En América del Sur las condiciones ecosistémicas y altitudinales permiten una gran distribución de los macroinvertebrados, los cuales, actualmente son muy utilizados como bioindicadores de la calidad del agua (Hanson, Springer, & Ramirez, 2010).

La bioindicación se expresa mediante la asignación de un valor numérico a la presencia o ausencia de los distintos macroinvertebrados debido a la tolerancia o no a ciertos contaminantes (MILIARIUM, 2010). La suma de los distintos valores obtenidos da como resultado la calidad que presenta el ecosistema expresados en índices de bioindicación.

A continuación, se enumeran algunos índices comúnmente utilizados en este tipo de estudios:

*Biological Monitoring Working Party (BMWP)*: se calcula por medio de la suma de puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados encontradas en el muestreo según su grado de sensibilidad a la contaminación a partir de la presencia de ciertas familias (Vasquez, Flowers, & Springer, 2009). (Véase más adelante Tabla 4)

*Índice biótico de Trent (TBI)*: se utiliza para indicar el grado de tensión producido por las aguas residuales en comunidades animales de río a partir de las cantidades de taxones y la

presencia de especies o grupos clave. Utiliza 6 taxones (Baetidae, Chironomidae, Planariidae, Hydrobiidae, Physidae, Ancyliidae, Sphaeriidae) de macroinvertebrados y la valoración final del agua varía en una escala entre 0 (mala) y 15 (buena) (Batlle & Golladay, 2001).

*Índice de Chandler Biotic Index (CBI)*: requiere conocer datos químicos la identificación a nivel de especie de algunos grupos de macroinvertebrados de las siguientes familias: *Baetidae*, *Chironomidae*, *Planariidae*, *Hydrobiidae*, *Physidae*, *Ancyliidae*, *Sphaeriidae*, *Hydracarina*, *Gammaridae*, *Nemouridae*, *Leuctridae*, *Perlidae*, *Heptageniidae*, *Caenidae* los cuales son conocidos por responder rápidamente ante cambios o alteraciones del agua. Este índice se calcula tomando en cuenta su abundancia y riqueza de las especies encontradas en los monitoreos (Batlle & Golladay, 2001).

## **E. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICO Y LA CALIDAD DE AGUA**

La calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua (Figueroa *et al.*, 2003) que depende principalmente del uso que se le va a dar a este recurso tan importante. La calidad del agua ciertamente es un tema prioritario en la actualidad (EPA, 2010) debido al fomento del cuidado de los recursos naturales. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que se depositan los residuos producidos por las actividades humanas. Es así como pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos se encuentran diluidos, en cantidades mayores o menores en las aguas de los más remotos lugares del mundo (Figueroa *et al.*, 2003).

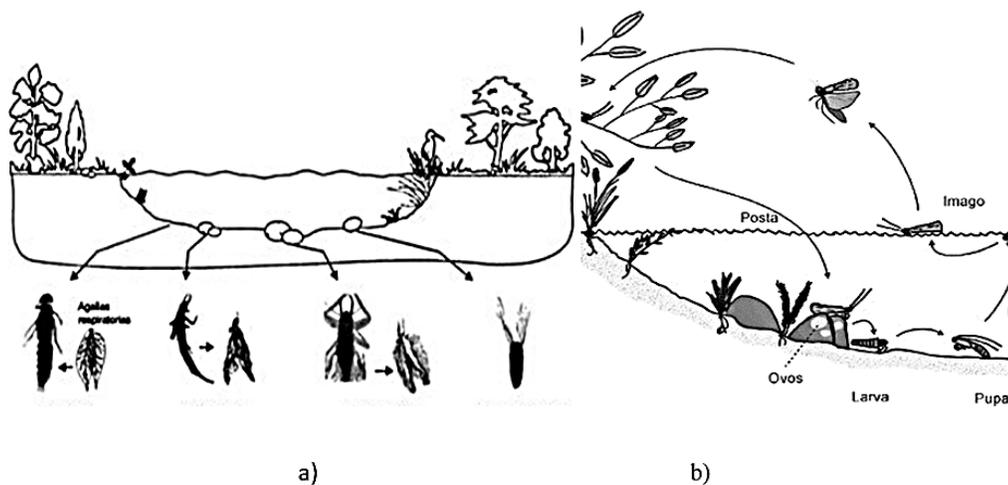
Los macroinvertebrados son todos aquellos invertebrados cuales su ciclo vital se desarrolla de manera parcial o totalmente en el agua y a la vez son lo suficientemente grandes como para poder ser retenidos en redes de luz de malla (aproximadamente 500  $\mu\text{m}$ ). En su gran mayoría pertenecen a grupos de artrópodos e insectos en sus formas larvales los cuales se distribuyen ampliamente en aguas dulces (Deley & Santillán, 2016).

Los macroinvertebrados son considerados como un enlace importante para poder mover la energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas y a la vez controlan la productividad primaria de los ecosistemas de aguas dulces (Deley & Santillán, 2016). Proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua y son muy importantes en los ecosistemas acuáticos por ser un componente de biomasa animal. Al usarlos en el monitoreo de la calidad de agua se puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra. Algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir, otros son adaptables y resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Los macroinvertebrados incluyen representantes en muchos Phylum de invertebrados, entre ellos: Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha. (Deley & Santillán, 2016; Figueroa *et al.*, 2003).

## **1. Biología de los macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados que habitan principalmente en agua dulce muestran numerosas adaptaciones incluyendo diferencias en sus ciclos de vida. Algunos de estos grupos pasan casi todo su ciclo de vida en el agua (Figura 3). El tiempo es altamente variable en todas sus etapas de desarrollo dependiendo de la especie y de los factores ambientales, así como la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento. El desarrollo puede variar desde pocas semanas hasta varios años (Hanson *et al.*, 2010). En ambientes tropicales los macroinvertebrados producen varias generaciones al año las cuales se traslapan es decir son

generaciones “multivoltinos” (Vasquez, Flowers, & Springer, 2009). Muchos grupos pueden realizar migraciones a lo largo de los ríos, incluso los ambientes de agua dulce y de mar (Hanson *et al.*, 2010).



**Figura 3.** Ciclo de vida de los macroinvertebrados a) Ciclo de vida de invertebrados que hábitat solamente en el agua b) Ciclo de vida de macroinvertebrados que habitan en el agua y en la superficie en varios estadios de desarrollo

## **2. Hábitat de los macroinvertebrados.**

El hábitat se refiere al sitio puntual donde el organismo habita y se desarrolla. Los hábitats acuáticos son muy variados y cada uno de ellos le corresponde una comunidad de especies determinada. Existen por ejemplo hábitats que tienen hojas flotantes y sus restos, troncos caídos y en descomposición, lodo o arena del fondo, sobre o debajo de las piedras, donde el agua es más corriente y donde el agua es estacional en lagunas, lagos, o aguas estancadas (Carrera & Fierro, 2001).

### **3. Alimento de los macroinvertebrados.**

Los ecosistemas terrestres y acuáticos se desarrollan en la base del principio de ser predador o presa (comer y ser comido) actuando por medio de cadenas tróficas especializadas. Los organismos que son más sensibles a actividades antropogénicas, que modifican los ecosistemas dulceacuícolas, desaparecen mucho antes que los demás, por lo que se da lugar a un desequilibrio en la cadena alimenticia. Muchas otras especies son afectadas por esto y ciertos organismos pueden desaparecer debido a que su fuente de alimento desapareció, este es el caso de los macroinvertebrados (Carrera & Fierro, 2001).

Los macroinvertebrados en general se alimentarse de algas, plantas acuáticas, restos de materia orgánica, peces, otros invertebrados, restos de comida en descomposición, elementos nutritivos del suelo, animales descomponiéndose, elementos nutritivos del agua, sangre de animales (Carrera & Fierro, 2001). Cualquiera que sea la modificación con respecto al alimento de estos organismos gatillará un proceso de selección de las poblaciones de determinadas especies en los ecosistemas.

### **4. Relación de los factores fisicoquímicos del agua con la fauna acuática**

La composición química del agua está relacionada directamente con la capacidad del agua de mantener elementos y sustancias sólidas y gaseosas en solución, fundamentales para el desarrollo de la biota (Mora & Soler, 1993).

Los parámetros fisicoquímicos del agua determinados por factores ambientales influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados. Factores

como la profundidad, pH, alcalinidad, dureza, iones de calcio, clase de sedimentos, materia orgánica y contaminantes tanto industriales como domésticos, determinan la abundancia relativa de las comunidades (Mora & Soler, 1993; Prat & Rieradeval, 1998). Adicionalmente la calidad del agua está influida por las interacciones de la vegetación, suelos y tiempo de inundación (Batlle & Golladay, 2001).

#### **F. EL MÉTODO BIOLÓGICO: Biological Monitoring Working Party (BMWP)**

El método biológico Biological Monitoring Working Party (BMWP) permite estimar la calidad del agua para el estudio de la fauna béntica (macroinvertebrados) en función de la tolerancia frente a la polución orgánica. Este método estableció en Inglaterra en 1970 de forma sencilla y rápido para evaluar la calidad del agua mediante la utilización de los macroinvertebrados como bioindicadores principalmente debido al poco presupuesto y tiempo que se necesita invertir (De la Heras & Alcaraz, 2005).

Al utilizar el BMWP es necesario identificar las muestras de macroinvertebrados hasta nivel de familia y se utilizan datos cualitativos (presencia o ausencia de cada familia) que expresan la sensibilidad en un rango que va del 1 al 10 (Perez, 2003).

El 10 indica el grupo más sensible y significa la presencia de muchos organismos pertenecientes a familias con valor 10 y consecuentemente, indica que el río posee aguas limpias. Por otra parte, si se encuentran organismos resistentes es decir con valores bajos nos da a conocer que el río tiene aguas contaminadas o de mala calidad. La suma de todos los puntajes de todas las familias presentes en la muestra analizada resulta en un valor total BMWP, con el cual se puede determinar la clase de agua que se encontró (Roldán, 2009).

Los científicos han clasificado a cada familia de macroinvertebrado con un número que indica su sensibilidad a los contaminantes (Sanchez, 2005). De acuerdo con esta sensibilidad se clasifican a los macroinvertebrados en cinco grupos como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Valoración de la sensibilidad de macroinvertebrados con relación a la calidad de agua

<b>CALIDAD</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>Muy buena</b>	9-10	No aceptan contaminantes
<b>Buena</b>	7-8	Aceptan muy pocos contaminantes
<b>Regular</b>	5-6	Aceptan pocos contaminantes
<b>Mala</b>	3-4	Aceptan mayor cantidad de contaminantes
<b>Muy mala</b>	1-2	Aceptan muchos contaminantes

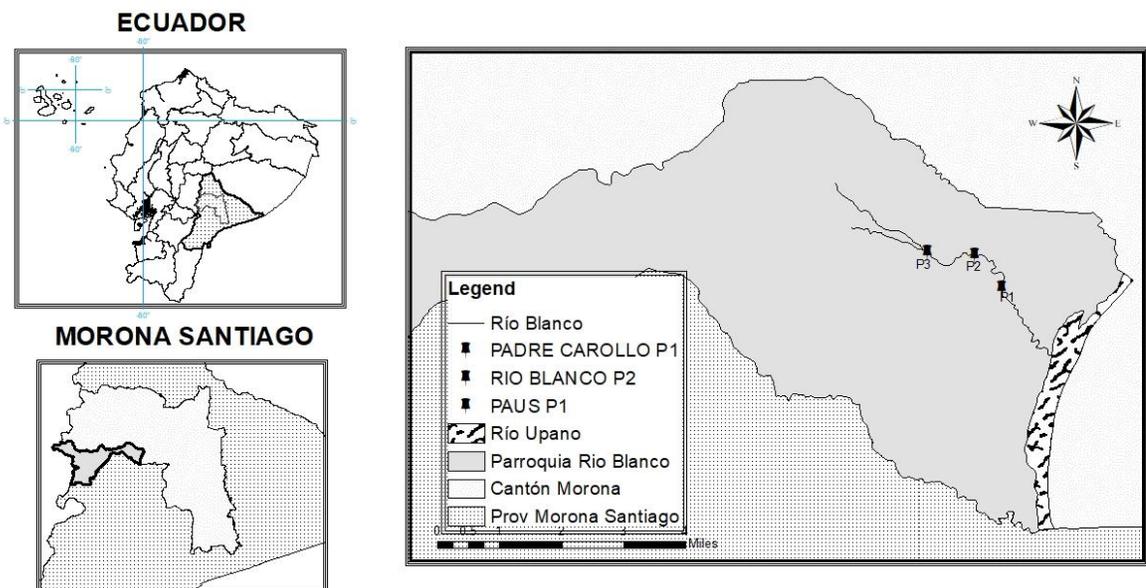
## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR

#### 1. Localización

La presente investigación se realizó en el tramo Padre Carollo- Paus del Río Blanco, ubicado en la parroquia Río Blanco, cantón Morona, provincia de Morona Santiago.

### UBICACIÓN PARROQUIA RIO BLANCO



Elaborado por: Miranda, C. 2018

**Figura 4.** Mapa de ubicación del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco en la Provincia de Morona Santiago

## **2. Ubicación geográfica**

Según el plan de Ordenamiento territorial la parroquia Río Blanco OTPRB (2015), la ubicación geográfica es la siguiente:

Latitud: 00°59'05'' S

Longitud: 77°48'50'' W

Altitud: 100-1400 msnm

## **3. Características climáticas**

Según el plan de Ordenamiento territorial OTPRB (2015) la parroquia Río Blanco tiene las siguientes características climáticas correspondientes a un Clima Húmedo Sub Tropical:

Temperatura media anual: 22 °C

Humedad relativa anual: 68%

Precipitación anual: 156,5-271,1 mm

Evapotranspiración: 87,25 mm/mes – 124,59 mm/mes

## **4. Clasificación ecológica**

La localidad de acuerdo con la clasificación de las zonas de vida (MAE, 2012) corresponde a la formación Bosque Siempreverde Montano Bajo (BSVMB). Esta formación se caracteriza por una compleja vegetación densa y de estructura compleja que se encuentra influenciada

por el descenso de la temperatura y una humedad atmosférica creciente. La altura de dosel puede alcanzar los 25 a 30 m, en esta faja de vegetación la mayoría de las especies, al igual que familias enteras de árboles características de las tierras bajas desaparece. (Ministerio del Ambiente del Ecuador , 2012).

Las especies más comunes que se encuentra en estas áreas son: *Pitcairnia bakeri* (BROMELIACEAE), *Alchornea pearcei* (EUPHORBIACEAE), *Cyathea cuspidata* (CYATHEACEAE), *Heliconia Hirsuta* (HELICONIACEAE) *Minuartia guianensis* (OLACACEAE), *Llex guayusa* (AQUIFOLIACEAE), *Ocotea amazónica* (LAURACEA), *Bactris gasipaes* (ARECACEAE), *Carica quercifolia* (CARICACEA), *Cedrelinga carenaeformis* (FABACEAE) (Ministerio del Ambiente del Ecuador , 2012).

## **B. MATERIALES**

### **1. Materiales de campo**

Para la recolección de las muestras de macroinvertebrados a lo largo de la zona de estudios se utilizaron los siguientes materiales: envases plásticos de 500 ml de capacidad, alcohol 96% (etanol), red de mano o cal cal (500  $\mu$ m luz de malla), cinta plástica, esferos, libreta de campo, bandejas, tamiz, pinzas.

### **2. Materiales y equipos de oficina e informáticos**

Los equipos utilizados tanto en el trabajo del monitoreo en el campo como en el análisis de los datos obtenidos se detallan a continuación: computadora, Impresora, Flash memory,

Libreta de campo, Lápiz/esfero, Cámara fotográfica, GPS Garmin 62 sc, Calculadora, equipo multiparámetros, estereoscopio. (Véase más detalles en anexos).

### 3. Material experimental

- Individuos colectados en las redes, Bioindicadores.
- Muestras de agua, Análisis Fisicoquímicos.

### C. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se determinaron 3 puntos de monitoreo a lo largo del tramo del Río Blanco: Paus, Río Blanco y Padre Carollo que se extiende van desde los 1258 m a los 1757m de altura (Figura 4). En cada uno de los sitios de muestreo se realizaron tres réplicas (tres mediciones) en tres campañas de muestreo desde Enero- Marzo del 2018. Los detalles de estas campañas de muestreo se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Diseño experimental del muestreo

<b>PUNTO MUESTREO</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>N° de repeticiones</b>	<b>Fecha M1</b>	<b>Fecha M2</b>	<b>Fecha M3</b>
<b>PAUS</b>	815868	9740261	1258	3	13/1/2018	3/3/2018	3/21/2018
<b>RIO BLANCO</b>	815132	9741417	1697	3	13/1/2018	3/3/2018	3/21/2018
<b>PADRE CAROLLO</b>	813540	9741605	1757	3	13/1/2018	3/3/2018	3/21/2018

## **D. METODOLOGÍA**

La investigación se realizó con la finalidad de evaluar la calidad hídrica de la microcuenca del Río Blanco. Los datos empleados en la investigación fueron cualitativos y cuantitativos ya que se empleó información registrada como la presencia o ausencia de poblaciones de macroinvertebrados, accesibilidad y características específicas de cada sitio de muestreo.

Para obtener información y datos necesarios para lograr la determinación de aspectos climáticos en la zona de estudio se recurrió a fuentes secundarias que incluye el acceso a información en la red y documentos otorgados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Río Blanco (GADPRB); que contienen la información más actualizada que corresponde al año 2015.

### **1. Delimitación del área de estudio**

Para delimitar el área se recorrió el río para georreferenciar la zona con la ayuda de un GPS. Los puntos geográficos obtenidos durante el recorrido se usaron para construir el mapa de la zona de estudio (ver Anexo 1).

### **2. Selección de sitios para muestreo**

Se establecieron puntos de monitoreo en la zona alta correspondiente al tramo Padre Carollo, en la parte intermedia tramo Río Blanco y en la parte más baja que corresponde al tramo Paus.

Para la determinación de los puntos de monitoreo fue necesario considerar:

- Accesibilidad de la zona
- Flujo regular del agua Lugares de predominación rocosa tipo cobles, grava, hojarascas y sustratos.
- Los puntos seleccionados en el río corresponden a tres tramos denominados Paus (P1), Río Blanco (P2) y Padre Carollo (P3), representan una muestra adecuada para la recolección de datos debido a que son zonas con y sin influencia antropogénica que permiten la evaluación de la zona.

### **3. Parámetros analizados**

Se realizó el análisis de ciertos parámetros fisicoquímicos *in situ* con el fin de tener información de datos básicos del Río Blanco, mediante un equipo multiparámetros. Los datos monitoreados en los sitios de muestreo en cada caso fueron:

- Temperatura - °T (Grados Centígrados, °C)
- Salinidad – Sal (Partes por millón, ppm)
- Conductividad Eléctrica - CE (Micro Siemens, Us/cm)
- Total de sólidos disueltos - TDS (Partes por millón, ppm)
- Potencial Hidrógeno - pH

#### **4. Recolección de muestras y medición**

##### **a. Parámetros Físico Químicos**

Se procedió a registrar las variables fisicoquímicas *in situ* con la ayuda de un equipo multiparámetros impermeable Premium PC60 de marca Apera el cual realiza mediciones de °T, pH, EC, TDS y Salinidad. Para la recolección de las muestras se lavó previamente el envase, se recogió el agua en la mitad del cuerpo de agua y en dirección opuesta a la corriente, la medición fue directa en el campo con la muestra recolectada en cada punto de monitoreo. Se sumergió el medidor multiparámetros en la muestra con el fin de que la sonda esté en contacto con el agua, esperamos la estabilización de los valores y se registró en las hojas de campo (ver Anexo 3)

##### **b. Muestreo de Macroinvertebrados**

Para el muestreo de macroinvertebrados se utilizó una red tipo “D-net” (Figura 5) mediante la cual se exploró la zona de muestreo; abarcando cada hábitat presente, es decir que se analizó piedras, arena, lodo, resto de vegetación, raíces y objetos sumergidos.

Se realizó un barrido corriente abajo removiendo el sustrato corriente arriba de manera que los organismos quedan atrapados dentro de la red general del río para caracterizar la biodiversidad del lugar en particular, removiendo el sustrato durante 3 minutos. Este muestreo se realizó tres veces en cada punto de monitoreo (P1, P2, P3) como se muestra en el Anexo 2.



**Figura 5.** Red de mano o “D-net”

### **c. Preservación y preparación**

Posterior a esta recolección se depositó las muestras en un recipiente de boca ancha, se lo lleno con alcohol (etanol) al 96%. Los recipientes fueron debidamente etiquetados con el punto de monitoreo y la fecha de recolección en su parte externa.

Terminada la recolección de muestras de macroinvertebrados y a temperatura ambiente se procedió a llevar todos los frascos de muestras al laboratorio de entomología de la Facultad de Recursos Naturales donde se realizó el análisis y clasificación de macroinvertebrados.

Se lavaron las muestras obtenidas mediante agua común y corriente para poder separar el material vegetal y los restos de sedimentos de los ríos y se colocaron en una bandeja blanca. (véase Anexo 4 para más detalles de la metodología)

La identificación los macroinvertebrados se lo realizó mediante el uso de la Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia y Tachet (2000). La identificación se hizo por medio de la observación bajo un estereoscopio donde se acopló una cámara fotográfica de manera que puedan registrarse imágenes de las familias de macroinvertebrados encontradas. (véase Anexo 5).

#### d. Cálculo del índice BMWP e interpretación de resultados

La identificación taxonómica de los macroinvertebrados se la realizó hasta el nivel de familia. La identificación de los individuos fue en base de la morfología de estos organismos mediante la guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia de Gabriel Roldan y Tachet (2000) ya que al utilizar este índice se determina de manera cualitativa el nivel de familia es decir se establece la presencia o ausencia de una familia en la muestra, este método establece 10 grupos que poseen un puntaje que va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles poseen un puntaje de 10, mientras que las más tolerantes se le asigna un puntaje de 1. Tabla 3 (Anexo 7)

**Tabla 3.** Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para aplicar el índice BMWP

FAMILIAS	PUNTAJE
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenida	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hidrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Para cuantificar y comparar la diversidad de macroinvertebrados en el área de estudios se utilizaron además índices de diversidad tales como: índice de Margalef y Pielou calculados mediante el paquete estadístico Primer-E. Las diferencias de riquezas fueron calculadas por medio de análisis de varianza (ANOVA una vía) en el que se usó como factor cada punto muestreado. Para detectar diferencias entre los puntos y campañas de muestreo se realizó una prueba de Tukey con probabilidad de  $p=0,05$  calculado con el programa estadístico SPSS.

El índice BMWP fue interpretado de acuerdo con la puntuación de las familias de macroinvertebrados acuáticos (Tabla 4), por medio de la suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio se determinó la calidad de agua según las categorías listadas en la Tabla 5, fijando además un color diferente para cada clase indicada.

**Tabla 4.** Clases para interpretar la calidad de agua según índice BMWP

Clase	Calidad	BMWP	Significado	Color
<b>I</b>	Buena	>100	Aguas muy limpias a limpias	<b>Azul</b> 
<b>II</b>	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	<b>Verde</b> 
<b>III</b>	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	<b>Amarillo</b> 
<b>IV</b>	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	<b>Naranja</b> 
<b>V</b>	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	<b>Rojo</b> 

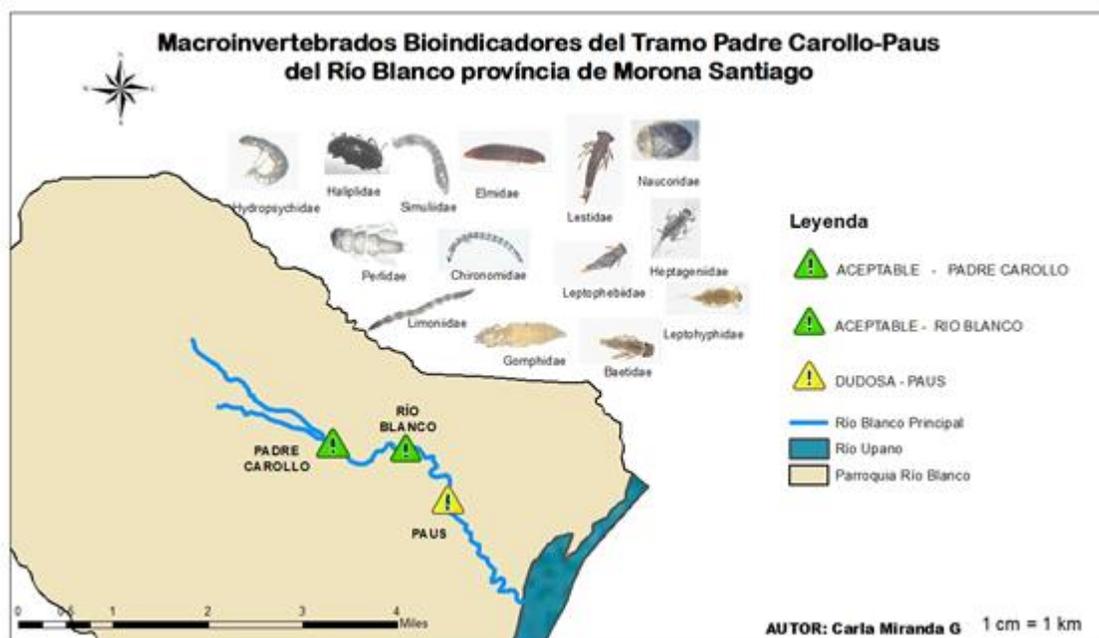
## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua en los tres puntos del tramo del río analizados con el índice BMWP, mostraron un estatus de aguas ligera y moderadamente contaminadas (Tabla 5, Figura 6). El puntaje alto de la calificación del BMWP para estos sitios de estudio se debe a que dicho índice de calidad de agua se calcula a través de la presencia o ausencia de familias determinadas de macroinvertebrados tal como se explica en la Tabla 4 lo que puede producir una impresión en las calificaciones a diferencia de otros índices como el índice Ephemeroptera-Plecóptera-Trichoptera (ETP) que calcula la calidad de agua con base en la riqueza de Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera el cual es más estricto en la detección de perturbaciones como lo indican autores como Alvarez & Pérez (2007) y Barrionuevo *et al.* (2007) en sus investigaciones.

**Tabla 5.** Índice BMWP en los tres puntos de monitoreo en el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco

TRAMO/ PUNTO	BMWP	CLASE	SIGNIFICADO	CALIDAD
PAUS - P1	53	III	Aguas moderadamente contaminadas	DUDODA 
RIO BLANCO - P2	90	II	Aguas ligeramente contaminadas	ACEPTABLE 
PADRE CAROLLO - P3	84	II	Aguas ligeramente contaminadas	ACEPTABLE 

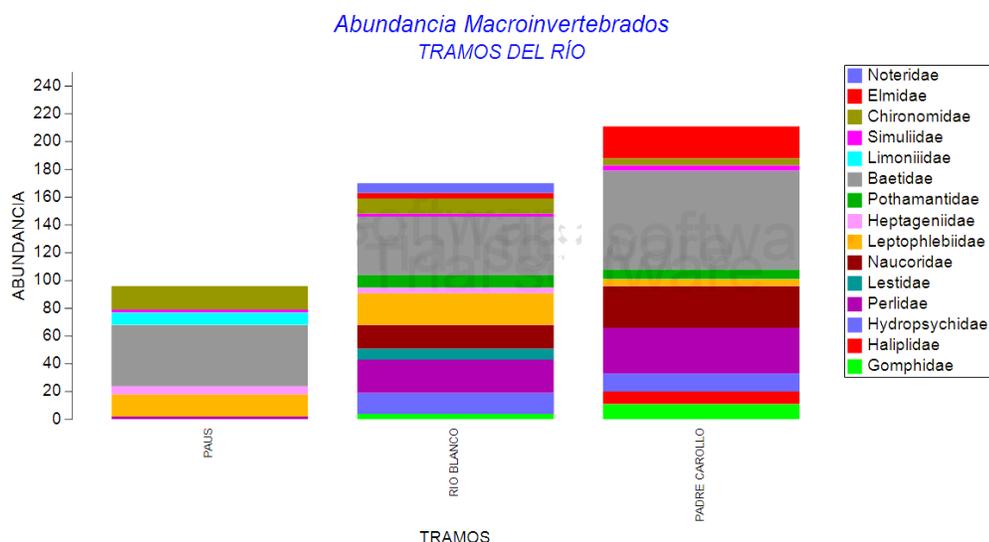


**Figura 6.** Macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua en el tramo Padre Carollo-Paus

(Véase más detalles en Anexo 9, 10 y 11)

Los puntajes asignados para cada calidad de agua según Prat y Munné (1999), citado en Roldán (2003) deben ajustarse de acuerdo con las condiciones geológicas de la pendiente, de altura y del sustrato de las corrientes en cada región. La metodología debe asociarse para cada región con el fin de obtener cada vez resultados más confiables.

En este estudio se colectaron en total 477 macroinvertebrados acuáticos en los tres puntos de muestreo siendo colectados 96 individuos en Paus (P1), 170 en el tramo Río Blanco (P2) y 211 en el tramo de Padre Carollo (P3). Entre los individuos observados se determinó que el grupo más dominante entre los macroinvertebrados es la familia Baetidae y el menos abundante los individuos de la familia Gomphidae (Figura 7).



**Figura 7.** Abundancia de macroinvertebrados ordenados en familia en los tres tramos del área de estudio

Los componentes de la familia Baetidae son quizá los más frecuentes en las aguas corrientes, encontrándose en condiciones ecológicas muy diversas y presenta relativa tolerancia ante ciertos factores del agua como la alcalinidad, conductividad, fosfatos, etc. Esta familia presenta preferencia a aguas limpias y bien oxigenadas, alta sensibilidad a los procesos de degradación e impactos antropogénicos es así que se usa como indicador biológico de la calidad del agua. (Gonzales, 1984) (Alba,2001). Características que son claramente notorio en este tramo del río Blanco., La mayor parte de las especies de gónfidos (Gomphidae) habitan en ríos y quebradas, las ninfas se entierran totalmente en el sustrato del fondo, sea éste arena, sedimento u hojarasca, lo cual es muy escaso en éste tramo del río, los adultos son estacionales y se encuentran sólo unos meses al año. su parte, las ninfas se encuentran durante todo el año (Theischinger & Enbersby, 2009)

## 2. ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO

Los resultados de los análisis Físico Químicos in situ de las tres campañas de muestreo detallados en la Tabla 6 muestran valores de pH que oscilan entre los 8.2 (P2) y 8.52 (P1), lo que significa que el agua de los puntos de muestreo llega a ser un poco alcalina. La conductividad eléctrica para los sitios de estudio fueron similares en P2 y P3 (Tabla 6) con valores cercanos a 179.3  $\mu\text{S}$  (P3) mientras que se determinó una valor más alto de 209.8 $\mu\text{S}$  (en P1 ). La temperatura osciló entre 21,9°C (P2) y 22.5°C (P3) con variaciones muy grandes entre los sitios., mientras que el total de sólidos disueltos alcanzó un valor máximo solamente en P1 mostrando 133 ppm. Sin embargo, existen pequeñas diferencias en salinidad y conductividad se puede decir que las variaciones en los tres sitios de estudio son mínimas.

**Tabla 6.** Valores de loa análisis Físico Químicos obtenidos en el monitoreo

<b>PUNTO</b>	<b>TRAMO</b>	<b>pH</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S}</math>)</b>	<b>T (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Sal (ppm)</b>	<b>TSD (ppm)</b>
<b>P1</b>	<b>Paus</b>	8.52	<b>209.8</b>	22.0	0.09	<b>133</b>
<b>P2</b>	<b>Rio Blanco</b>	8.2	173.7	21.9	0.1	123.4
<b>P3</b>	<b>Padre Carollo</b>	8.3	179.2	22.5	0.1	129.6

Las diferencias observadas especialmente en el P1 correspondiente al tramo Paus podrían estar relacionadas a la presencia de mayor población humana cerca por lo cual existe mayor impacto en esta zona. El total de sólidos disueltos depende de la concentración de sales minerales y está directamente relacionados con la capacidad del agua para conducir corriente

(CE) por lo que al existir un aumento de temperatura más alta será la conductividad eléctrica (Barrionuevo *et al.* 2007), permitiendo constatar que existe un impacto directamente relacionado con el asentamiento humano presente cerca de la zona.

### 3. RIQUEZA DE MACROINVERTEBRADOS

Respecto a la riqueza de familias de macroinvertebrados acuáticos existieron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ( $p < 0.05$  \*) indicados en la Tabla 7. Sin embargo, las variaciones entre cada uno de los puntos registradas en este estudio pueden estar relacionadas con la diversidad de los sitios de muestreo (por ejemplo: el tipo de sustrato, intervención humana, etc.) (González et al, 2012).

**Tabla 7.** Análisis de Varianza. (Significación:  $P < 0,05$  \*,  $< 0,01$  \*\*,  $> 0,05$  NS)

<b>RIQUEZA</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	24,667	2	12,333	5,550	<b>,043*</b>
<b>Dentro de grupos</b>	13,333	6	2,222		
<b>Total</b>	38,000	8			

\* = Significativo, \*\* =Altamente Significativo, NS= No Significativo

Con respecto a los índices calculados, la diversidad estimada con el índice de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad con relación a la máxima diversidad esperada y muestra su significancia por medio de un valor estimado entre 0 a 1. Los valores de las muestras en este estudio varían entre 0.8 y 0.9 en todos los puntos de muestreo (Tabla 8) lo que representaría que todas las especies son igualmente abundantes. En comparación con el índice de diversidad de Margalef, valorado en una escala de 1 a 5, los valores que estén por debajo del 2 suelen hacer referencia a ecosistemas con poca biodiversidad y a 5 con mucha biodiversidad. Éste índice mostró que el P1 correspondiente al tramo de Paus posee muy baja diversidad, comparado con el P2 y P3 en Río Blanco y Padre Carollo donde se encontró mayor biodiversidad. Sin embargo, la diferencia en diversidad de estos puntos de muestreo no es significativa ni considerable, es decir en general los tres puntos poseen diversidades estables (Tabla 8).

**Tabla 8.** Riqueza total de especies de macroinvertebrados e Índices de diversidad calculados

TRAMO	PUNTOS	RIQUEZA	TOTAL	MARGALEF	PIELOU
		(S)	INDIVIDUOS (N)		
PAUS	P1R1	5	42	1.0792	0.90905
	P1R2	6	28	1.5005	0.84127
	P1R3	3	26	<b>0.61386</b>	0.89564
RIO BLANCO	P2R1	8	53	1.7631	0.88818
	P2R2	9	67	<b>1.9026</b>	0.94564
	P2R3	8	50	1.7894	0.94415
PADRE CAROLLO	P3R1	8	74	1.6264	0.84846
	P3R2	10	69	<b>2.1256</b>	0.93324
	P3R3	6	68	1.185	0.80242

En cuanto a los periodos de muestreo, en la primera campaña de muestreo (13 enero 2018) se colectaron individuos de 8 familias y 63 individuos, en la segunda campaña (13 marzo 2018) se encontraron 12 familias y 244 individuos, y en la tercera campaña (23 marzo 2018) se colectaron 13 familias y 170 individuos. A pesar de que el número de individuos y familias en el tiempo de muestreo fueron distintas no se hallaron diferencias significativas ( $p = NS$ ) en cuanto a la riqueza de macroinvertebrados durante el tiempo de este estudio (Tabla 9) probablemente debido a que el área de estudio se caracteriza por la presencia de lluvias la mayor parte del año.

Esto puede ser explicado por las evidencias documentadas por Arce & Leiva (2009), Fernandez *et al.* (2008) y Graterol *et al* (2006) quienes explican que en épocas lluviosas se tiene un efecto marcado del arrastre de macroinvertebrados como consecuencia del aumento de los caudales donde los insectos acuáticos que no tienen adaptaciones para sostenerse pueden ser arrastrados por la corriente. Mientras que en épocas secas las aguas mantienen su cauce normal y las poblaciones no sufren ninguna alteración. También en el área de estudio del presente trabajo se observaron un aumento de los caudales en el río Blanco que modificaría el hábitat de los macroinvertebrados de la misma manera.

**Tabla 9.** Análisis de varianza (ANOVA de una vía) comparando los períodos de muestreo (Significación:  $P < 0,05$  \*,  $< 0,01$  \*\*,  $> 0,05$  NS)

<b>RIQUEZA</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	12,519	2	6,259	1,579	,227 NS
<b>Dentro de grupos</b>	95,111	24	3,963		
<b>Total</b>	107,630	26			

\* = Significativo, \*\* = Altamente Significativo, NS = No Significativo

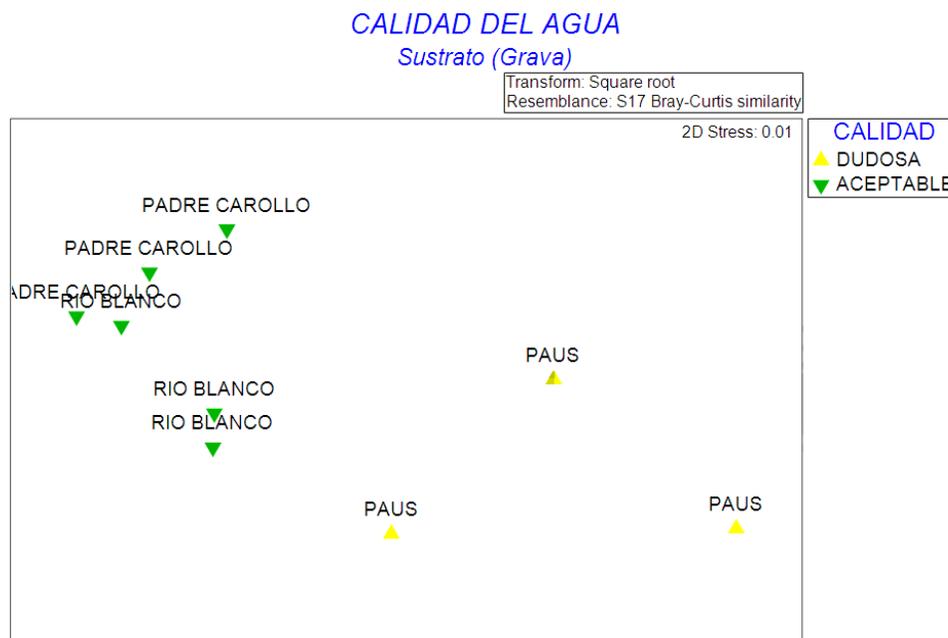
Adicionalmente mediante una prueba Post Hoc (utilizando una prueba de HSD Tukey) se identificó diferencias significativas ( $p < 0,05$  \*) entre sitios de muestreo correspondientes a los tramos Paus y Río Blanco. Estas diferencias significativas en el análisis de riqueza de organismos entre sitios de estudio están relacionados a la buena calidad del agua y la alta abundancia de macroinvertebrados que fueron encontrados en los puntos de muestreo el P2 del tramo Río Blanco, a diferencia del P1 Paus en donde tanto la calidad y abundancia de macroinvertebrados fueron menores en comparación a Río Blanco. Comparando los sitios de estudio Padre Carollo y Paus no se encontraron diferencias significativas evidentes ( $p=0,07$ , NS) debido a que en estos dos puntos de muestreo se encontró una abundancia similar de macroinvertebrados (Tabla 10).

**Tabla 10.** Pruebas Post Hoc, HSD Tukey test comparando los entre sitios de estudio (Significación:  $P < 0,05$  \*,  $< 0,01$  \*\*,  $> 0,05$  NS). Comparaciones múltiples de la riqueza de organismos/especies en los sitios de estudio.

<b>Comparaciones múltiples</b>						
Variable dependiente: RIQUEZA						
HSD Tukey						
(I) PUNTO	(J) PUNTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
PAUS	RIO BLANCO	-3,66667	1,21716	<b>,054*</b>	-7,4013	,0679
	PADRE CAROLLO	-3,33333	1,21716	,075 NS	-7,0679	,4013
	RIO BLANCO	3,66667	1,21716	<b>,054*</b>	-,0679	7,4013
PADRE CAROLLO	PADRE CAROLLO	,33333	1,21716	,960	-3,4013	4,0679
	PAUS	3,33333	1,21716	,075 NS	-,4013	7,0679
	RIO BLANCO	-,33333	1,21716	,960	-4,0679	3,4013

\* = Significativo, \*\* = Altamente Significativo, NS = No Significativo

La comparación entre la calidad del agua y el tipo de sustrato vinculado a lo largo del río se observa una agrupación por tres tramos del río que se utilizaron como sitios de estudio (Figura 8). El tipo de sustrato está relacionado y explica en cierta medida la abundancia de individuos colectados en ciertos puntos de muestreo y con ello la calidad del agua relacionada a este punto y sitios de muestreo. En el caso de Rio Blanco y Padre Carollo todo el punto de muestreo mostraron un tipo de sustrato de grava de textura fina a media. Esta única diferencia entre los sitios de estudio explicaría los valores altos en los índices utilizados para medir la riqueza de los organismos (Tabla 8, Figura 9), además de la calidad el agua “aceptable” (Tabla 5). A diferencia del tramo Paus en el que su sustrato es de grava fina y la calidad del agua es Dudosa (Figura 9).



**Figura 8.** Relación de calidad de agua en los tramos.



**Figura 9.** Relación de calidad de agua y el sustrato de los tramos.

El sustrato está relacionado con la presencia de macroinvertebrados. Los estudios realizados por Jiménez, (2005) demuestran una relación positiva entre los sustratos y la diversidad de los grupos encontrados en las muestras colectadas tienen a agruparse significativamente según este factor en el que determinó que en ésta área de estudio hubo una mayor dominancia de individuos bivalvos y gasterópodos en zonas arenosas en agua moderadamente limpias y su menor frecuencia de aparición en sustratos rocosos. A pesar de que en este estudio no se determinó si algún sustrato identificado tuvo mayor dominancia se observa que cumple un patrón de abundancia y calidad de agua de acuerdo al sustrato identificado

Los sólidos totales en disueltos se encuentran directamente relacionados con la turbidez la cual puede ser provocada por efecto de la erosión de las riberas de los ríos debido a la deforestación de los bosques ribereños (Jacobsen 1998 en Reenberg y Moller Pedersen 1998) y que representa un problema a los ecosistemas acuáticos al restar el ingreso de luz solar provocando disminución de la producción primaria, así como la sedimentación de partículas

que pueden destruir los hábitats acuáticos. Probablemente, en el P2 y P3 correspondiente al tramo de Río Blanco y Padre Carollo al contar con un menor número de habitantes alrededor de la zona existe un menor grado de influencia en la degradación de los bosques de ribera, resultando así menor probabilidad de erosión y mayor concentración de individuos acuáticos y terrestres.

El presente estudio fue pionero en cuanto la utilización de métodos de bioindicadores en un ecosistema de bosque tropical en la zona de Río Blanco. La interrelación observada entre el índice de uso de la tierra, la calidad física del cauce, el índice físico-químico de calidad del agua y los índices bióticos muestran que los macroinvertebrados son buenos predictores del estado de calidad del agua y pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas, pese a que la provincia de Morona Santiago ha tenido una historia de uso de los bosques nativos muy intensa debido a la extracción minera, ganadería, y desarrollo de proyectos agro-industriales lo que ha generado un deterioro de biodiversidad, reservas de agua y servicios ambientales. Después de un tiempo de recuperación y gracias a, las prácticas comunitarias y locales de los pueblos cercanos a las aguas del tramo del río Blanco se han contribuido al equilibrio de estos ecosistemas que se recuperan actualmente lo que permite constatar la calidad aceptable del agua directamente relacionado con la recuperación de bosques alrededor de estos ecosistemas dulceacuícolas que se mantiene en un estatus aún rescatable.

## VI. CONCLUSIONES

El índice biológico BMWP debido a su versatilidad es muy útil para el monitoreo y análisis de la calidad del agua. Una vez que sea adaptado y modificado para determinado cuerpo de agua lotico permite una evaluación rápida y acertada basado en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de los macroinvertebrados acuáticos. La interpretación de este índice de la calidad de agua es clara y sencilla y fue fácil de aplicar para ecosistemas tropicales.

Se realizaron 3 campañas de muestreo durante todo el monitoreo en donde se colecto 15 familias con un total de 477 macroinvertebrados a lo largo del Rio Blanco, permitiendo conocer la riqueza en este tramo con gran sensibilidad ecológica.

La parroquia Rio Blanco ha tratado de recuperar gradualmente los bosques perdidos conscientes de que la agricultura, ganadería y minería, esta última actividad de extracción ha sido el principal factor de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la zona de estudio como consecuencia de la escorrentía química, el cual ha sido el principal contaminante de la microcuenca de la parroquia.

En función a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se concluye que las actividades antropogénicas tienen influencia directa en la calidad del agua de la microcuenca. En general el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco presenta una calidad aceptable del agua tras un período de reducción de las actividades antropogénicas realizadas en la zona.

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido determinar que los macroinvertebrados pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos ambientales y poder optar por medidas restauración adecuadas en la microcuenca, ya que el bosque de ribera permite estabilizar los márgenes, retención de sedimentos y nutrientes, además proporciona sombra al río que favorece la aparición de nuevos microhábitats.

Con todo ello se puede concluir que los ríos son muchos más que una simple corriente de agua, son ecosistemas muy diversos y complejos, con una gran cantidad de componentes físicos y químicos y una diversidad de organismos, los cuales son necesarios para el correcto funcionamiento de los ríos, y cualquier impacto en ecosistema fluvial altera la comunidad de macroinvertebrados y empobrece los ecosistemas

## **VII. RECOMENDACIONES**

El seguimiento y monitoreo de las aguas de una microcuenca debe ser más extendido. En este estudio se realizó un seguimiento de cuatro meses, pero se recomienda un seguimiento por un período más extendido (mínimo un año) en la microcuenca del Río Blanco, para obtener mayor información de las diferencias que puede generarse tanto en la estación seca y la estación lluviosa. Estos datos facilitarían un análisis más exacto de la dinámica de del comportamiento del curso hídrico en esta zona y las posibles relaciones con las actividades humanas relacionadas a la microcuenca.

Mediante este análisis preliminar es necesario promover un adecuado manejo de la microcuenca y la desinfección del agua del río Blanco para consumo mediante la preparación a técnicos de la zona que serían los encargados de capacitar a las familias de las comunidades en las metodologías de desinfección.

Es necesario el desarrollo de un índice de calidad biológica para el Ecuador, donde se cubra todo el rango altitudinal y ecosistémico del país, así como las familias de macroinvertebrados comunes en los cuerpos de agua.

## VIII. RESUMEN

La presente investigación plantea: evaluar la calidad del agua del Río Blanco utilizando macroinvertebrados acuáticos empleando el Índice Biológico BMWP acondicionado a las características ecológicas y a la dinámica poblacional del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco en la provincia de Morona Santiago; los sistemas dulceacuícolas son uno de los recursos naturales más importantes para la vida, a pesar de ello estos ecosistemas han sufrido grandes impactos causados principalmente por actividades humanas las cuales afectan directamente la biota acuática y la calidad del agua. Complementariamente se midieron parámetros fisicoquímicos in situ y se aplicaron índices de biodiversidad como Margalef y Pielou, con tal propósito se identificaron 3 puntos, realizando 3 campañas de muestreo en periodos lluviosos. Para la colecta de los macroinvertebrados se utilizó una red de mano "D net" realizando tres repeticiones en cada punto de muestreo. En total se registraron 433 macroinvertebrados distribuidos en 15 familias. Se encontraron diferencias significativas entre la riqueza de los macroinvertebrados, a pesar del efecto arrastre de la época no existieron diferencias entre campañas de muestreo. El índice biológico BMWP debido a su versatilidad es muy útil para la gestión de la calidad del agua permitiendo una evaluación rápida y acertada, en función a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Se concluye que las actividades antropogénicas tienen influencia directa en la calidad del agua de la microcuenca. En general el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco presenta una calidad aceptable del agua.

Palabras clave: MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS – BIOINDICACIÓN DEL AGUA- CALIDAD DEL AGUA



## **IX. SUMMARY**

### **ABSTRACT**

This research proposes: to evaluate the water quality of the Rio Blanco using macro aquatic invertebrates employing the Biological Index BMWP conditioning to the ecological characteristics and to the dynamic population of the stretch Padre Carollo-Paus of Rio Blanco in the province of Morona Santiago; freshwater systems are one of the most important natural resources for life, nevertheless these ecosystems have undergone major impacts caused mainly by human activities which directly affect aquatic biota and water quality. In addition physiochemical parameters were measured in situ and biodiversity indexes such as Margalef and Pielou were applied, for this purpose 3 points were identified by carrying out 3 sampling campaigns in rainy periods. For the collection of macro invertebrates, a "D net" Performing three repetitions at each sampling point. A total of 433 macroinvertebrates distributed in 15 families were recorded. Significant differences were found between the richness of the microinvertebrates, despite the drag effect of the time there were no differences between sampling campaigns. The biological index BMWP due to its versatility is very useful for the management of water quality allowing a quick and accurate assessment, according to the results of the physicochemical and microbiological analyzes. It is concluded that anthropogenic activities have a direct influence on the water quality of the microbasin. In general, the Padre Carollo-Paus stretch of the Rio Blanco presents an acceptable quality of water.

Keyword: AQUATIC MACROINVERTEBRATES - BIOINDICATION OF THE WATER- WATER QUALITY



## BIBLIOGRAFÍA

1. Alava, J. (2009). *Formulación del plan de ordenación y manejo de la microcuenca "Payacas" en el municipio de Tuquerres*. (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira
2. Allan, J., & Castillo, M. (2007). *Stream ecology. Structure and function of running waters*. Springer. 200; 75-105.
3. Alonso, A. (2006). *Valoración del efecto de degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares*. Revista Ecosistemas. 15.2; 1-5.
4. Alvarez, S., & Pérez, L. (2007). *Evaluación de la calidad del agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca de Yeguaré, Honduras*. (Tesis de grado. Ingeniero e Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente) Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano: Honduras.
5. Arce, M., & Leiva, M. (2009). *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo*. Loja- Ecuador. UTPL.
6. Arcos, I. (2005). *Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras*. En programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba - Costa Rica.
7. Arroyo, C., Encalada, A. 2009. *Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano*. ACI Avances en Ciencias e Ingenierías. Quito- Ecuador.
8. Barrionuevo, M., Romero, F., Navarro, M., Meosi, G., & Fernandez, H. (2007). *Monitoreo de calidad de la agua en un río subtropical de montaña: el río Lules (Tucumán, Argentina)*. Tucumán- Argentina. Conagua.

9. Batlle, J., & Golladay, S. (2001). *Water quality and macroinvertebrate assembles in three types of saesonally inundated limesink wetland in southwest Georgia*. *Journal of Freshwatwer Ecology*, 16(2), 189-208.
10. Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. México. Universidad Autónoma Metropolitana. p. 23.
11. Bucher, E., Castro, G., & Floris, V. (1997). *Conservación de ecosistemas de agua dulce: hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos*. Lugar: Washintong, D. C. Inter-American Development Bank.
12. Carrie, J. (2012). *Manual de manejo de cuenca Wold Vision*. Roma- Italia.
13. Casilla , S. (2014). *Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del rio Suchez*. (Tesis de grado. Ingeniero Agrícola) Universidad Nacional del Altiplano Puno. Puno- Perú.
14. Cedeño, G. (2016). *Vulnerabilidad de la legalidad ambiental, territorial y de los derechos humanos ocasionado por los cultivos de palma africana en la Provincia de Esmeraldas* . Quito: UCE.
15. Corbet, P. (1999). *Dragonflies: Behavior and ecology of Odonata*. University of Edinburgh. Scotland - Reino Unido. Harley Books.
16. Dangles, Olivier. 2011 *Predicting richness effects on ecosystem function in natural communities: insights from high-elevation streams*. *Ecology*. N. (3) 733-743
17. De la Heras, J., & Alcaraz, J. (2005). *La calidad del agua: contaminación de las aguas producida por la agricultura. Limitaciones para su uso en la agricultura*. Agua y agronomía. Madrid - España. p. 295.
18. Deley, R., & Santillán, P. (2016). *Macroinvertebrados bentónicos de la Microcuenca Jubal, Ozogoché y Zula, Parque Nacional Sangay*. (M. S. Carpio, Ed.) Riobamba - Ecuador: El Telérafo EP.

19. Fernandez, H., Romero, F., Vece, M., Manzo, V., Nieto, C., & Orce, M. (2002). *Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña*. En *Limnética* 21, 1-13. Tucuman - Argentina.
20. Fernández, R. (2011). *Ecosistemas acuáticos*. Recuperado el 21 de enero del 2018. Obtenido de Ecosistemas: <http://www.tareasya.com.mx/index.php/tareas-ya/primaria/sexta-grado/cienciasnaturales/1319-Ecosistemas-acu%C3%A1ticos.html>.
21. Gil, J. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa*. (Tesis de postgrado. Master en desarrollo sostenible y medio ambiente. Universidad de Manizalez- Manizalez - Colombia
22. Gonzalez, S., Ramirez, A., Meza, S., & Díaz, L. (2012). *Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales*. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natura*. 16(2), 135-148.
23. Graterol, H., Goncalves, L., Medina, B., & Pérez, B. (2006). *Insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua del Río Guaraca*. Carabobo - Venezuela.
24. Guevara, G., Mercado, M., & Elliot, S. (2006). Comparación de macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la reserva costera valdivia, sur de Chile. *En Asociación colombiana de limnología* 1, 98-105).
25. Guevara, J., & Carmen, J. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador* Continental. En M. d. Ecuador. Quito.
26. Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*. *Biología Tropical*, 58, 3-37.
27. Londoño, C. (2001). *Cuencas Hidrográficas: bases conceptuales – Caracterización y planificación-Administración*. Ibagué: Universidad de Tolima. Tolima - Colombia

28. Maas, M. (2003). *Principios generales sobre manejo de ecosistemas. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México.
29. Meza, A., & Rubio, J. (2010). *Composición y estructura trófica de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chichiná*. En Tesis: Programa de biología. Manizales - Colombia: Universidad de Caldas
30. Ministerio del Ambiente del Ecuador . (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Quito: MAE.
31. Mora, A., & Soler, M. (1993). *Estudio limnológico con énfasis en los macroinvertebrados bentónicos de la parte alta del río Bogotá* (Tesis de grado. Ingeniero en Biología). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá - Colombia.
32. MacDonald, L., Smart, A., & Wissmar, R (1991). *Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Forestry Activities on Streams in Pacific Northwest and Alaska*. Alaska. University of Washington Water Center: EPA.
33. Pavón , Y., & Rocha, S. (2015). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo, en el año hidrológico 2010-2011*. Universidad Nacional Agraria. Managua - Nicaragua.
34. Perez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col*. Medellín - Colombia : Universidad de Antioquia.
35. Portuguez, M., Rodriguez, K., Acevedo , C., Acevedo, O., Acevedo, J., Arroyo, E., Salazar, S. (2013). *Utilización del índice Bmwp-Cr para análisis de la calidad del agua en quebrada Barro Montecillos durante el Año 2013*. Tolima - Colombia.
36. Prado, V. (2015). *Estado de la calidad del agua del Río Teaone (Cuenca Baja) Entre La Termoeléctrica y la desembocadura del Río Esmeraldas, Sector De Ladesembocadura Del Río Esmeraldas, Sector De Ladesembocadura Del Río Esmeraldas, Sector De La Propicia I*. Esmeraldas: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

37. Prat, N., & Rieradeval, M. (1998). *Criterios de evaluación de la calidad del agua en los lagos y embalses basados en macroinvertebrados bentónicos*. *Actualidades Biológicas*, 20(69), 137-147.
38. Resh, V. (2008). *Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138(1-3), 131-138.
39. Roldán, G. (2009). *Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos*. *Actualidades biológicas*, 91(31), 227-237.
40. Sierra, R. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y Diagnóstico*. Medellín - Colombia: Universidad de Medellín.
41. Vasquez, D., Flowers, W., & Springer, M. (2009). *Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica*. *Aquatic Insects*, 31(sup1), 319-332.
42. Vernon, L. (1985). *Water chemistry: predicting the capacity of powdered activated carbon for trace organic compounds in natural waters*. *Environmental Science & Technology*, 32(11), 1694-1698.
43. Vidal, C., & Romero, H. (2010). *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción*. Concepción metropolitana (AMC). Planes, procesos y proyectos. Pérez, L. e Hidalgo, R. (Editores). Concepción - Chile.
44. Zury, W. (2008). *Manual de planificación y gestión participativa de cuencas y microcuencas*. Loja - Ecuador: FAO. pp. 60-67.

## X. ANEXOS



**Anexo 1. Identificación y georreferenciación de los puntos de muestreo.**



**Anexo 2. Colecta y almacenamiento de macroinvertebrados**



**Anexo 3. Medición de variables fisicoquímicas *in situ***



**Anexo 4. Limpieza de muestras**



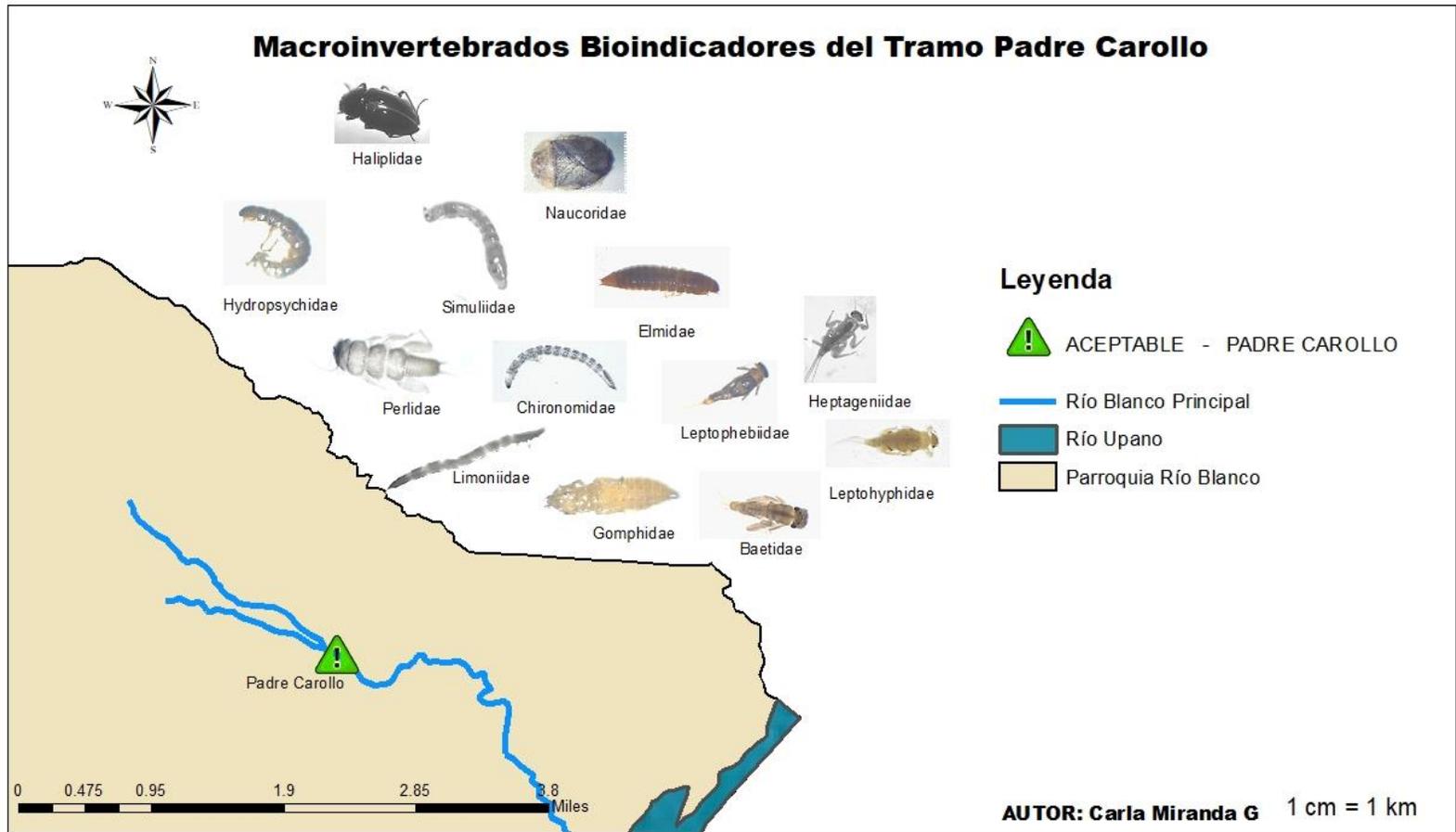
**Anexo 5. Identificación taxonómica de las familias de macroinvertebrados indicadores por medio de la observación a través de uso del estereoscopio**



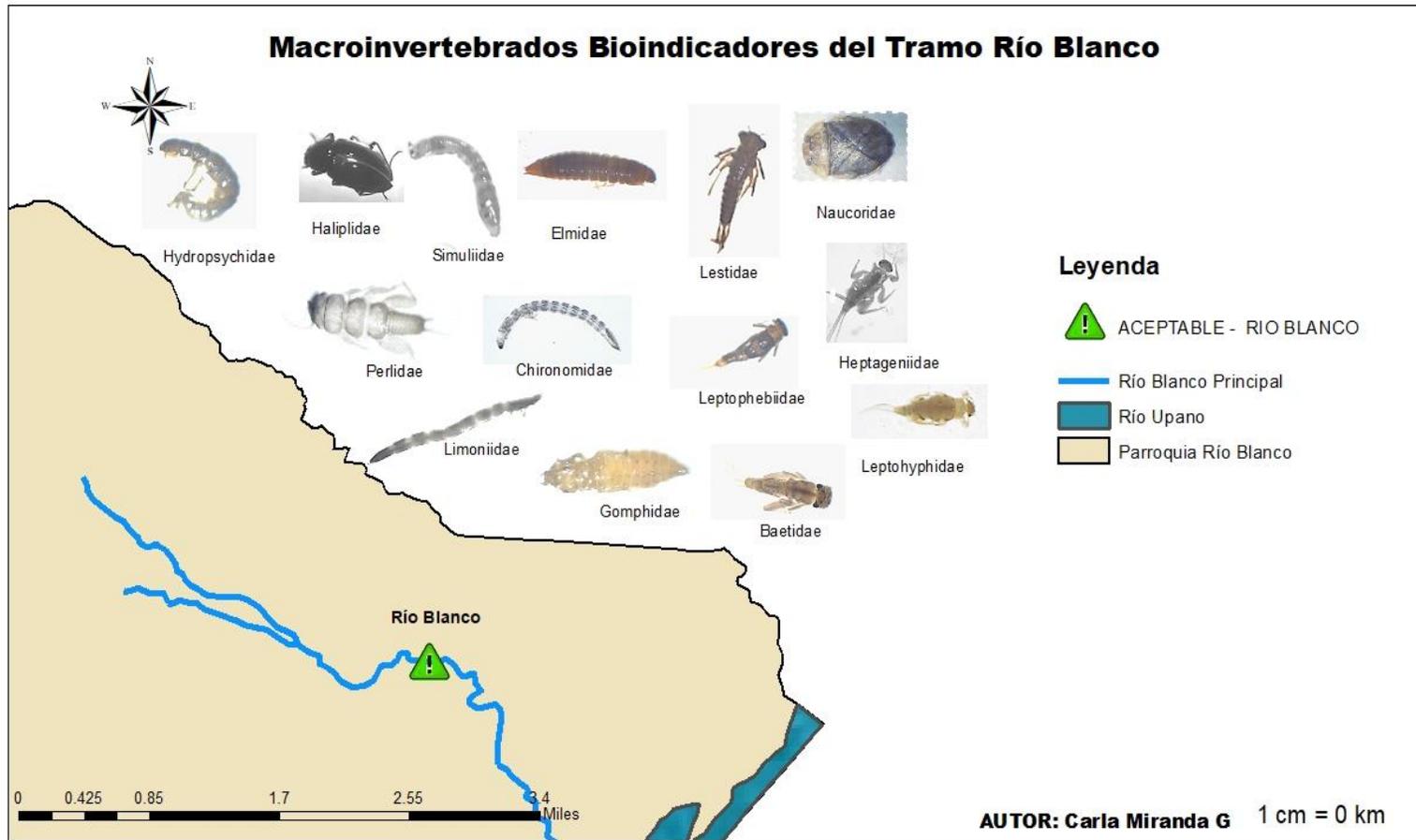
**Anexo 6. Codificación de familias**

**Anexo 7. Cálculo del índice BMWP en el tramo Padre Carollo-Paus del Rio Blanco. La tabla detalla los puntajes estimados para el índice en relación a la presencia de determinadas familias de macroinvertebrados**

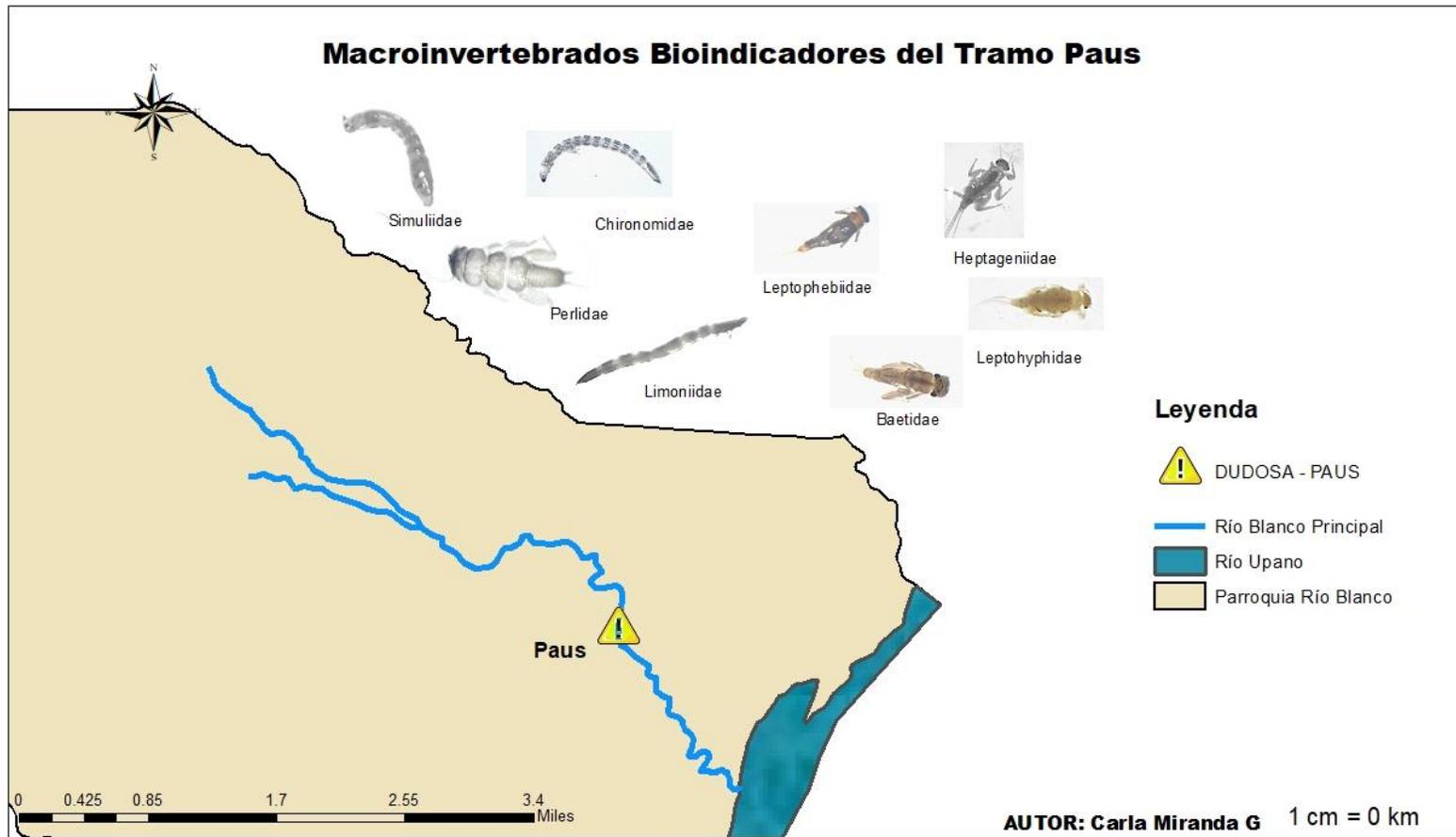
TRAMO/ PUNTO	ORDEN	FAMILIA	PUNTAJE	BMWP	CLASE	SIGNIFICADO	CALIDAD
PAUS-P1	Díptera	Chironomidae	2	53	III	Aguas moderadamente contaminadas	<b>DUDOSA</b> 
	Díptera	Simuliidae	8				
	Díptera	Limoniidae	4				
	Ephemeroptera	Baetidae	7				
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9				
	Ephemeroptera	Leptohyphidae	7				
	Ephemeroptera	Heptageniidae	6				
	Plecoptera	Perlidae	10				
RIO BLANCO-P2	Odonata	Gomphidae	9	90	II	Aguas ligeramente contaminadas	<b>ACEPTABLE</b>
	Díptera	Chironomidae	2				
	Ephemeroptera	Baetidae	7				
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9				
	Plecoptera	Perlidae	10				
	Coleoptera	Noteridae	4				
	Coleoptera	Elmidae	6				
	Ephemeroptera	Leptohyphidae	7				
	Hemiptera	Naucoridae	8				
	Odonata	Lestidae	7				
	Trichoptera	Hydropsychidae	7				
	Díptera	Simuliidae	8				
	Ephemeroptera	Heptageniidae	6				
PADRE CAROLLO-P3	Plecoptera	Perlidae	10	84	II	Aguas ligeramente contaminadas	<b>ACEPTABLE</b> 
	Odonata	Gomphidae	9				
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9				
	Díptera	Simuliidae	8				
	Hemiptera	Naucoridae	8				
	Ephemeroptera	Baetidae	7				
	Ephemeroptera	Leptohyphidae	7				
	Trichoptera	Hydropsychidae	7				
	Ephemeroptera	Baetidae	7				
	Coleoptera	Elmidae	6				
	Coleoptera	Halplidae	4				
	Díptera	Chironomidae	2				



**Anexo 8. Macroinvertebrados colectados en el tramo Padre Carollo (P3). Se muestra la localización y la morfología de las familias de invertebrados más abundantes en el punto de muestreo**



**Anexo 9. Macroinvertebrados colectados en el tramo Río Blanco (P2) Se muestra la localización y la morfología de las familias de invertebrados más abundantes en el punto de muestreo**



**Anexo 10. Macroinvertebrados colectados en el tramo Paus (P1) Se muestra la localización y la morfología de las familias de invertebrados más abundantes en el punto de muestreo**



Anexo 11. Calidad del agua del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco. Se muestra la diferenciación de la calidad del agua en cada punto de monitoreo