



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO TAHUANDO
MEDIANTE LA FUNCIONALIDAD BIOLÓGICA DE MACROINVERTEBRADOS
ACUÁTICOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERAS EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORAS:

Viviana Lizeth Rojas Farinango
Patricia Alejandra Romero Estrella

DIRECTOR:

Ing. Jairo Santiago Cabrera García MSc.

IBARRA – ECUADOR

ENERO, 2024



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
 CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 22 de enero de 2024

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital del Trabajo de Integración Curricular (TIC) **“Evaluación de la calidad ecológica del río Tahuando mediante la funcionalidad biológica de macroinvertebrados acuáticos”** de autoría de las señoritas **Viviana Lizeth Rojas Farinango** y **Patricia Alejandra Romero Estrella** estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que las autoras han procedido a incorporar en su TIC las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**JAIRO
 SANTIAGO
 CABRERA
 GARCIA**

MSc Santiago Cabrera

.....

DIRECTOR TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



Firmado electrónicamente por:
**DELIA
 ELIZABETH
 VELARDE CRUZ**

MSc Elizabeth Velarde

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL TUTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172767248-5	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Rojas Farinango Viviana Lizeth	
DIRECCIÓN:	Cayambe - Pichincha	
EMAIL:	vivilizrojas@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0968991560

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100501768-4	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Romero Estrella Patricia Alejandra	
DIRECCIÓN:	Otavalo - Imbabura	
EMAIL:	alejaestrella1998@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0960037841

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO TAHUANDO MEDIANTE LA FUNCIONALIDAD BIOLÓGICA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
AUTOR (ES):	Rojas Farinango Viviana Lizeth Romero Estrella Patricia Alejandra
FECHA: DD/MM/AAAA	25/01/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Santiago Cabrera MSc.

2. CONSTANCIAS

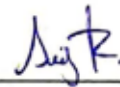
Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de enero de 2024

LAS AUTORAS



Viviana Lizeth Rojas Farinango
1727672485



Patricia Alejandra Romero Estrella
1005017684

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer de manera muy especial a nuestros padres, ya que son un pilar fundamental dentro de nuestro desarrollo personal y profesional. Además, a cada una de las personas que confiaron en nosotros y velaron por nuestro porvenir.

A nuestros docentes, especialmente a nuestro director Ing. Santiago Cabrera por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de nuestro camino académico. Por la ayuda, paciencia y motivación a salir adelante. De igual manera, a nuestra asesora Ing. Elizabeth Velarde por guiarnos durante el proceso de esta investigación para que sea culminada de manera exitosa.

También a todas las personas que se tomaron el tiempo y nos colaboraron en la recolección de muestras y datos para que nuestra investigación se desarrolle de mejor manera.

Finalmente, agradecemos a cada uno de nuestros amigos y a las personas que han sido parte de esta grandiosa e importante etapa estudiantil porque con su apoyo y palabras de aliento nos ayudaron a afrontar las diferentes situaciones que se nos han presentado en este largo camino.

Vivi y Ale

DEDICATORIA

Este gran logro va dedicado a Dios que ha sido mi fortaleza en los momentos difíciles de mi vida, me ha brindado un amor inquebrantable y me ha llenado de muchas bendiciones, ya que cuento con una familia extraordinaria.

A mis amados padres Gloria Farinango y Amilcar Rojas que han sido parte fundamental a lo largo de mi vida, con sus acertadas palabras me han corregido, me han enseñado a luchar por mis sueños, a ser perseverante y a trabajar de manera honrada. Por siempre estar para mí, creer en mí y por impulsarme a salir adelante a pesar de las adversidades.

A mis hermanos Adriana, Anderson y Emily que han sido una pieza clave en todo momento. Por apoyarme, estar pendientes y por preocuparse siempre de mi bienestar.

A Fernando que ha estado a mi lado brindándome su apoyo y amor incondicional, alentándome en los momentos difíciles y llenándome de felicidad. También a mis amigas Eli y Amaloha que, a pesar de todo, hemos permanecido juntas en este largo y bonito camino.

Vivi

DEDICATORIA

*Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres,
Isabel y Wilson que siempre estuvieron a mi lado aconsejándome y
dándome el apoyo para culminar esta etapa de mi vida, por guiarme
con los mejores valores y principios, por todo su amor y por motivarme
a seguir adelante*

*A mis hermanos Sebastián, Isabella, Kata y a mi sobrino Benjamín
por brindarme su apoyo moral y estar en los momentos que
más los necesito*

*A Cristofer por todo su apoyo en este proceso,
por formar parte de tantos momentos llenos de risas y alegrías
y a mi amiga Mafer por compartir momentos felices y tristes que me han
ayudado a crecer a lo largo de la carrera*

Este solo es el comienzo de una gran etapa.

Ale

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4 PREGUNTA(S) DIRECTRIZ (CES) DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5 HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ECOSISTEMAS FLUVIALES ANDINOS EN ECUADOR.....	5
2.1.1 <i>Características Hidromorfológicas de Ríos Tropicales</i>	5
2.1.2 <i>Estructura y Funciones de los Ecosistemas Fluviales</i>	6
2.1.3 <i>Problemáticas en Ecosistemas Acuáticos Lóticos</i>	6
2.2 MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS	6
2.2.1 <i>Funciones Ecológicas</i>	7
2.2.2 <i>Grupos Funcionales de Alimentación de Macroinvertebrados</i>	7
2.3 CALIDAD DE AGUA DE RÍOS.....	8
2.3.1 <i>Bioindicadores de Calidad o Condición Ecológica en Ríos</i>	9
2.3.2 <i>Calidad Ecológica Mediante Índices Biológicos de Macroinvertebrados</i>	9
2.3.3 <i>Asociación entre Calidad Ecológica e Hidromorfológica</i>	9
2.4 MARCO LEGAL	10
2.4.1 <i>Constitución de la República de Ecuador</i>	10
2.4.2 <i>Código Orgánico del Ambiente (COA)</i>	11
2.4.3 <i>Código Orgánico Integral Penal</i>	12
2.4.4 <i>Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014)</i> ..	12
2.4.5 <i>Plan Nacional de Desarrollo (Creando Oportunidades)</i>	13
2.4.6 <i>Objetivos de Desarrollo Sostenible</i>	13
2.4.7 <i>Ordenanzas Locales</i>	13

CAPÍTULO III.....	14
METODOLOGÍA	14
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
3.2 MÉTODOS.....	16
3.2.1 Localización de Puntos de Muestreo	16
3.2.2 Recolección, Tratamiento y Análisis de Muestras.....	17
3.2.3 Cálculo de Índices Biológicos de Calidad BMWP-Col y AAMBI	17
3.2.4 Asignación de Rasgos Funcionales y Condición Ecológica del Río	18
3.2.5 Análisis de Datos	18
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	19
CAPÍTULO IV.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS Y PERTURBACIONES ANTRÓPICAS DEL RÍO TAHUANDO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE MUESTREO	20
4.1.1 Características meteorológicas y condiciones actuales del área de estudio	20
4.1.2 Selección de sitios de muestreo.....	23
4.2 ANÁLISIS LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS PARA LA GENERACIÓN DE ÍNDICES BIOLÓGICOS	32
4.2.1 Diversidad de macroinvertebrados.....	32
4.2.2 Análisis de índices biológicos.....	34
4.2.3 Calidad Ecológica del río Tahuando.....	36
4.3 EVALUACIÓN DE LOS GRUPOS FUNCIONALES DE ALIMENTACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS.....	38
4.3.1 Grupos Funcionales Alimenticios.....	38
4.3.2 Calidad biológica del agua y grupos funcionales alimenticios.....	40
4.3.3 Comparación de índices biológicos y variables ambientales.....	43
4.3.4 Evaluación de los índices biológicos y variables ambientales mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP)	44
4.3.5 Análisis de índices biológicos, grupos funcionales, variables ambientales y sitios de muestreo	45

CAPÍTULO V	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1 CONCLUSIONES	48
5.2 RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tahuando	16
Tabla 2 Materiales y equipos de la investigación	19
Tabla 3 Puntos de muestreo de la cuenca del río Tahuando	24
Tabla 4 Descripción de las características hidromorfológicas de los puntos de muestreo	27
Tabla 5 Actividades antrópicas y evaluación de la calidad hidromorfológica de los sitios de muestreo	32
Tabla 6 Lista de taxones encontrados, abundancia total, puntos de muestreo donde han sido encontrados los organismo y valor de tolerancia de acuerdo con los índices biológicos	33
Tabla 7 Calidad de agua mediante el uso de índices biológicos	35
Tabla 8 Análisis de la calidad ecológica mediante el uso del índice biológico (AAMBI) e hidromorfológicos	37
Tabla 9 Análisis de la calidad ecológica mediante el uso del índice biológico (BMWP/Col) e hidromorfológicos	38
Tabla 10 PERMANOVA (ANOVA permutacional) entre las categorías de los índices biológicos (BMWP-Col y AAMBI) para los grupos funcionales alimenticios.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 A. Mapa de ubicación de la cuenca del río Tahuando y B. Mapa delimitación de la cuenca alta, media y baja del río Tahuando	15
Figura 2 Climograma de la cuenca del río Tahuando	20
Figura 3 Mapa de temperatura y precipitación de la cuenca del río Tahuando	21
Figura 4 Mapa de balance hídrico de la cuenca del río Tahuando	22
Figura 5 Mapa de uso y cobertura de suelo de la cuenca del río Tahuando	23
Figura 6 Mapa de los puntos de muestreo en la cuenca del río Tahuando	24
Figura 7 Correlación entre los índices biológicos AAMBI y BMWP/Col y los sitios de muestreo	36
Figura 8 Composición de los grupos funcionales de alimentación por los sitios muestreados con respecto al índice BMWP-Col	39
Figura 9 Composición de los grupos funcionales de alimentación por los sitios muestreados con respecto al índice AAMBI	39
Figura 10 Abundancia relativa de grupos funcionales de alimentación agrupados con base a la clasificación de calidad biológica del agua del índice BMWP-Col.....	41
Figura 11 Abundancia relativa de grupos funcionales de alimentación agrupados en base a la clasificación de calidad biológica del agua del índice AAMBI.....	42
Figura 12 Diagrama de correlación de índices biológicos y variables ambientales	44
Figura 13 Diagrama de Análisis de Componentes Principales (ACP) de los índices biológicos y variables ambientales	45
Figura 14 Diagrama de Análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) de los grupos funcionales de alimentación y los sitios de muestreo.....	47

ÍNDICE ANEXOS

TABLAS

Tabla A1 Protocolo CERAs de la calidad hidromorfológica.....	55
Tabla A2 Evaluación de las características hidromorfológica	57
Tabla A3 Evaluación de la calidad de agua a partir del Índice Biótico BMWP-Col.....	57
Tabla A4 Puntajes de la familia de macroinvertebrados según el índice BMWP-Col	57
Tabla A5 Puntajes de la familia de macroinvertebrados según el índice AAMBI	58
Tabla A6 Evaluación de la calidad de agua a partir del puntaje del Índice Biótico Andino- Amazónico (AAMBI)	59
Tabla A7 Asignación consensuada de rasgos alimenticios.....	60

FIGURAS

Figura A1 Mapa de ubicación de la cuenca del río Tahuando.....	61
Figura A2 Mapa delimitación de la cuenca alta, media y baja del río Tahuando.....	62
Figura A3 Mapa de temperatura y precipitación de la microcuenca del río Tahuando	63
Figura A4 Mapa de balance hídrico de la microcuenca del río Tahuando	64
Figura A5 Mapa de uso y cobertura de suelo de la cuenca del río Tahuando	66
Figura A6 Mapa de los puntos de muestreo de la cuenca del río Tahuando	65

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO TAHUANDO MEDIANTE LA FUNCIONALIDAD BIOLÓGICA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS”

Viviana Lizeth Rojas Farinango y Patricia Alejandra Romero Estrella

RESUMEN

Los ecosistemas fluviales altoandinos son muy importantes debido a que nos proveen de varios servicios ecosistémicos y ambientales. Sin embargo, se encuentran muy perturbados debido a las actividades humanas mal gestionadas. Es por ello que en el presente estudio se evaluó la calidad ecológica del río Tahuando utilizando el protocolo CERAs, mismo permite conocer el estado fisicoquímico (DQO, Turbidez y Coliformes fecales), hidromorfológico y la composición biológica de los macroinvertebrados acuáticos con base a su abundancia, riqueza e índices biológicos BMWP-Col y AAMBI. Además, se usó varias fuentes bibliográficas para asignar a cada organismo el grupo funcional alimenticio al que pertenece. De acuerdo con los resultados se determinaron seis puntos de muestreo a lo largo del sistema hídrico, identificando que la mayor superficie de su ribera se encuentra cubierta de pastos, cultivos e infraestructuras. Los Grupos Funcionales de Alimentación fueron más diversos en el sitio de muestreo Zuleta 1 con 21 familias y 311 individuos de macroinvertebrados y más abundantes en el lugar Zuleta 3 con 598 individuos pertenecientes a 18 familias. Los Recolectores-coleccionistas estuvieron presentes en todos los lugares muestreados, por otro lado, los Raspadores estuvieron casi ausentes en todo el estudio. Finalmente se observó que un alto porcentaje de las familias registradas presentaban una correlación significativa con las variables ambientales de caudal, altitud, profundidad y velocidad. Los resultados de este estudio se pueden utilizar como datos de referencia para futuros estudios de bioevaluación de ecosistemas fluviales altoandinos.

Palabras clave: Calidad ecológica, índices biológicos, ecosistemas fluviales, macroinvertebrados acuáticos, rasgos funcionales

ABSTRACT

The high-altitude Andean River ecosystems are very important because they provide us with various ecosystem and environmental services. However, they are considerably disturbed due to poorly managed human activities. Thus, in the present study the ecological quality of the Tahuando River was evaluated using the CERAs protocol, which led us to know the physical-chemical (DQO, Turbidity and fecal coliforms) and hydromorphological quality and the biological composition of the aquatic macroinvertebrates, based on their abundance, richness and biological indices BMWP-Col and AAMBI. In addition, several bibliographic sources were used to assign each organism the functional feeding group. Six sampling points were determined along the river, identifying that the largest surface of its banks is covered with pastures, crops and infrastructure. The Functional Feeding Groups were most diverse at site Zuleta 1 with 21 families and 311 individuals of macroinvertebrates and most abundant at site Zuleta 3 with 598 individuals belonging to 18 families. Collectors-gatherers were present in all the places sampled, whereas Scrapers were almost absent throughout the study sites. Finally, it was observed that a high percentage of the families presented a significant correlation with the environmental variables: flow, altitude, depth and water velocity. The results of this study can be used as reference data for future bioassessment studies of high-altitude Andean Rivers and streams.

Key words: Ecological quality, biological indices, river ecosystems, aquatic macroinvertebrates, functional trait

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los ecosistemas fluviales andinos son de gran importancia para los países que se localizan en la cordillera de los Andes, además son conocidos como depósitos de recursos hídricos y generadores de diversos servicios ecológicos y ambientales, sin embargo, las perturbaciones antrópicas originadas por el ser humano han causado alteración en estos ecosistemas, modificando la diversidad biológica a diferentes niveles de organización (desde las poblaciones hasta los ecosistemas) (Moreno et al., 2017). Acosta et al. (2009), mencionan que, pese a los diversos impactos ambientales ocasionados en los ecosistemas fluviales de Latinoamérica, existe una gran deficiencia con respecto a los estudios de calidad de agua que contengan metodologías eficaces. Estas metodologías ayudan a determinar el estado ecológico de los sistemas hídricos para que sirvan como herramientas de gestión del recurso.

En el transcurso del tiempo los países desarrollados han implementado métodos biológicos que aseguren un control riguroso de la condición y funcionalidad de los ambientes acuáticos, generalmente, para realizar estos biomonitoreos en los ríos se han utilizado diferentes organismos (macroinvertebrados acuáticos, peces, algas o bacterias) que habitan en el medio acuático (Encalada et al., 2011). Además, algunas características fisicoquímicas e hidromorfológicas, como la vegetación de la ribera, el paisaje próximo al río y algunos elementos del canal del río (forma o sustrato) han permitido encontrar e identificar los cambios que se producen a causa de la contaminación antrópica (Eriksen et al., 2021). Debido a la efectividad que ha demostrado tenerlas comunidades bentónicas para evaluar, monitorear y controlar la calidad de agua, los índices biológicos han sido implementados y validados mundialmente (Encalada et al., 2011).

Los macroinvertebrados son organismos visibles a simple vista, normalmente se encuentran en un tamaño mayor a 1 mm (Domínguez & Fernández, 2009). Son fundamentales en la construcción y aplicación de índices biológicos, debido a que su muestreo es simple, tienen poca movilidad y su vida útil es relativamente larga a comparación de otros organismos acuáticos, por ejemplo: plancton (Bonada et al., 2006). La evolución que han presentado estos macroinvertebrados, de acuerdo con los ambientes naturales en los que habitan, ha sido de gran

relevancia para el cálculo de los índices biológicos y la ponderación de los mismos, estos índices nos permiten determinar el nivel de sensibilidad o tolerancia a los contaminantes y de igual manera, clasificar los niveles de perturbaciones o modificaciones hidromorfológicas presentes en el medio (Eriksen et al., 2021). El empleo de estos bioindicadores de calidad hídrica, han servido de herramienta para crear propuestas que ayuden en la gestión y protección de los ecosistemas acuáticos (Cabrera et al., 2021).

Los grupos de macroinvertebrados son un componente biológico muy importante de los ríos ya que se encuentran relacionados en el flujo de materia y energía, y presentan una gran diversidad de adaptaciones, que incluyen notables diferencias en sus ciclos de vida (Ladrera et al., 2013). Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo vital en entornos acuáticos por lo que son considerados como los principales bioindicadores de calidad del agua, son abundantes y se distribuyen en prácticamente todos los ecosistemas de agua dulce. Según (Ferrú & Fierro, 2015) los macroinvertebrados se pueden clasificar por varios grupos funcionales alimentarios como son: colectores, filtradores, depredadores, detritívoros, fragmentadores y ramoneadores. Una de las ventajas que poseen como bioindicadores es la presencia de ciclos de vida cortos, lo cual se refleja con mayor rapidez evidenciando alteraciones del medio ambiente mediante cambios en la estructura de sus poblaciones, mientras que las desventajas principales son la existencia de una comunidad heterogénea y el desconocimiento de la taxonomía de algunos grupos (Hanson, 2010).

1.2 Problema de Investigación y Justificación

El río Tahuando es una corriente hidrográfica ubicado en la provincia de Imbabura, nace desde la parroquia Angochagua, tiene un recorrido de 15 km y atraviesa tres parroquias: Angochagua, San Francisco y El Sagrario. Las perturbaciones antrópicas y mala administración han provocado la pérdida de la calidad ecológica de este río (Cuasapud, 2017). La acción antrópica sobre este medio sumado a una gestión política, técnica y legal inadecuada en el manejo del recurso agua, donde varios de estos puntos conducen a conflictos con el recurso hídrico, y por tanto pérdida de su calidad. La falta de conciencia y cultura ambiental, el desconocimiento ecológico de los ecosistemas y el crecimiento de la población en el sector urbano y rural aumenta, por lo tanto, las personas que se encuentran aledañas a los ríos han construido urbanizaciones y barrios lo que también conlleva a la eliminación y deforestación de la cobertura vegetal ocasionando la disminución de la capacidad hídrica y disminuyendo sus servicios ecosistémicos (Cuasapud, 2017)

El crecimiento del desarrollo poblacional ha producido el aumento de la demanda del recurso hídrico, incrementando así, los impactos ambientales a causa de actividades antropogénicas y el aprovechamiento no sostenible del recurso hídrico en las cuencas hidrográficas (Castro, 2015). El río Tahuando es un sistema hídrico utilizado como sustento para diversas actividades cotidianas de la población que lo rodea, sin embargo, existen diferentes efectos ocasionados en el ecosistema a causa de estas acciones. Algunos efectos son: la pérdida de la calidad, cantidad y funcionalidad ecológica e hidromorfológica del recurso hídrico, la pérdida de calidad del suelo y sedimentos, la disminución de la biodiversidad, abundancia y composición de especies, la pérdida de los servicios ecosistémicos y ambientales (Almeida & Lucio, 2014).

El presente trabajo se enmarca en varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente con el Objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento), donde se reconoce que la gestión sostenible del agua no solo incluye lograr el acceso al agua potable, sino también implica abordar la materia en un contexto más amplio, incorporando temas como la calidad del agua, la gestión de las aguas residuales, el uso eficiente del agua, la gestión de los recursos hídricos y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados (ONU, 2018). Además, al enfocarse en un estudio para analizar la calidad ecológica de un sistema hidrográfico, se encuentra también, en el Objetivo 13 del Plan Nacional de Desarrollo (Creando Oportunidades), en el que se pretende fomentar una gestión integral de los recursos hídricos, bajo políticas de proteger, regenerar, recuperar y conservar el recurso hídrico y sus ecosistemas asociados, con un enfoque de transición ecológica (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad para fomentar e iniciar con nuevos estudios que ayuden a generar propuesta y estrategias con el fin de mejorar la calidad de agua del río Tahuando y concientizar sobre la fragilidad de estos ecosistemas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la calidad ecológica de la cuenca del río Tahuando mediante los grupos funcionales de macroinvertebrados acuáticos.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Evaluar las características hidromorfológicas y perturbaciones antrópicas del río Tahuando para establecer los sitios de muestreo.
- Analizar la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los sitios de muestreo para la aplicación de índices biológicos.
- Evaluar los grupos funcionales de macroinvertebrados y características hidromorfológicas para determinar la calidad ecológica del río.

1.4 *Pregunta(s) Directriz (ces) de la Investigación*

- ¿Cuáles son las perturbaciones antrópicas que generan mayor impacto en el funcionamiento natural a lo largo del río Tahuando?
- ¿Cuál es la calidad ecológica del agua en el río Tahuando en base a los macroinvertebrados y sus grupos funcionales?

1.5 *Hipótesis*

Ho: La calidad ecológica en base a la comunidad de macroinvertebrados y características hidromorfológicas es similar a lo largo del río Tahuando.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Ecosistemas Fluviales Andinos en Ecuador

La ubicación geográfica en la que se encuentra Ecuador hace que tenga diversidad de ecosistemas, mismos que son importantes dentro de los aspectos ecológicos, sociales y económicos. Los ríos tienen una gran importancia para la biodiversidad, por ello es indispensable analizar de forma detallada su estructura y funcionamiento (Soria, 2016). Los ríos son sistemas dinámicos y complejos que pueden llegar a presentar un estado de cambio continuo con respecto a las características físicas, químicas y biológicas, desde el principio hasta el final del cauce, los ecosistemas fluviales tienen varios procesos y funciones naturales que desarrollan los ecosistemas y ayudan a visualizar los beneficios para satisfacer las necesidades y mejorar la calidad de vida de la sociedad, la ecología de un río relaciona los organismos con el entorno en un ambiente fluvial, incluye diferentes aspectos como la biodiversidad, calidad de agua y la relación con los seres humanos. Es importante mencionar que los ríos poseen varios servicios ecosistémicos, como son: proveer agua para la sociedad y para la agricultura, ya que son una fuente principal del recurso hídrico y también contribuyen a regular el clima local al liberar vapor de agua (Sabater, 2009).

2.1.1 Características Hidromorfológicas de Ríos Tropicales

La hidromorfología es la base de los ecosistemas fluviales ya que es una ciencia que estructura las comunidades y procesos biológicos que se dan en el ecosistema, varias de las características hidromorfológicas más importantes son: velocidad o caudal de la corriente, profundidad, dimensiones del río, índices de calidad del agua, altitud, naturalidad de la cubierta vegetal, índice del hábitat fluvial, composición del sustrato, entre otros (Villamarín et al., 2014). Determinar las características de un río nos ayuda a clasificar el estado o potencial ecológico del mismo. Al clasificar el estado de un río nos permite identificar los problemas ambientales presentes, por ejemplo: la contaminación, la erosión o la sobreexplotación del agua y también a implementar una buena gestión y planificación del recurso hídrico (Soria, 2016).

2.1.2 Estructura y Funciones de los Ecosistemas Fluviales

La estructura de los ecosistemas son las características del medio abiótico que componen el escenario en el que se desarrolla el ecosistema y las comunidades biológicas (Sabater, 2009). Mientras que el funcionamiento se refiere a los procesos que ocurren en el sitio y se encuentran determinados por el medio abiótico, en el caso de los ecosistemas fluviales su estructura está ligada a la forma y dimensiones del cauce y el funcionamiento a procesos como por ejemplo la retención de sedimentos o la materia orgánica (Barinas, 2008).

2.1.3 Problemáticas en Ecosistemas Acuáticos Lóticos

La mayoría de los ríos ya no son prístinos a causa de varios problemas ambientales, como la contaminación del recurso hídrico, ya sea por residuos sólidos o residuos químicos y biológicos, la mala administración y varias modificaciones antrópicas ocasionadas en la cuenca (Barrenechea, 2005). Estos problemas se presentan en ecosistemas acuáticos de Latinoamérica, son situaciones que ya han sucedido desde algún tiempo atrás y se han propuesto diferentes programas o actividades para minimizar estos problemas, pero no se han podido erradicar o controlar en su totalidad y como consecuencia se produce la pérdida de calidad de agua, pérdida de los servicios ecosistémicos y la disminución de la diversidad, abundancia y composición de las especies (Castro, 2015). Para ello es importante mantener el régimen de caudales ecológicos para conservar la composición y el funcionamiento de un sistema fluvial en condiciones naturales (Soria, 2016).

2.2 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que se encuentran presentes en diversos ecosistemas de agua dulce. Son considerados como buenos bioindicadores de calidad del agua, ya que presentan distintos rangos de tolerancia a la contaminación de su entorno (Tomanova et al., 2008). Debido a la gran diversidad de fauna que encontramos en los ambientes lacustres, el grupo de moluscos, crustáceos, gusanos, ácaros e insectos son considerados los macroinvertebrados bentónicos más utilizados para la evaluación con índices biológicos (Gonzales et al., 2014). Barinas (2008), clasifica los modos de vida que poseen los macroinvertebrados de la siguiente manera:

- **Neuston:** organismos que se sitúan en la superficie del agua (caminando, saltando o brincando). Su exoesqueleto, patas y uñas contiene una sustancia cerosa impermeable que les permite mantenerse en la superficie del agua.
- **Necton:** organismos que nadan libremente en el cuerpo de agua.
- **Bentos:** organismos que se encuentran en la profundidad de los ambientes acuáticos, adheridos a superficies como troncos, restos de vegetación, piedras y sustratos similares.

2.2.1 Funciones Ecológicas

Las funciones ecológicas que poseen los macroinvertebrados en los sistemas lacustres son muy relevantes, debido a que facilitan la comprensión de la dinámica relacionada con el flujo de energía y de los nutrientes, así como de las interacciones tróficas (Hanson, 2010). Tienen funciones importantes en los ecosistemas acuáticos ya que son bioindicadores de la calidad de agua y ayudan con el control biológico de plagas (Springer, 2010). La aplicación de macroinvertebrados como bioindicadores se fundamenta en evaluar las modificaciones de la comunidad de organismos que existen en los sistemas hídricos frente a perturbaciones, estos indicadores son capaces de demostrar los cambios que ha sufrido el ecosistema al pasar el tiempo, ya sea alguna alteración física del cauce o la propia contaminación hídrica (Ladrera et al., 2013).

2.2.2 Grupos Funcionales de Alimentación de Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados cumplen un papel fundamental con respecto a la importancia ecológicas de un ecosistema. Según los criterios mencionados por Hanson (2010) estos organismos se pueden clasificar en diferentes grupos funcionales alimenticios como:

- **Recolector-Colector (RC):** capturan partículas finas que se encuentran depositadas en el agua.
- **Recolector-Filtrador (RF):** recolectan partículas en suspensión mediante el uso de cepillos bucales o redes de seda.
- **Depredador (DP):** obtienen su alimento de otros animales; mientras unos mastican la presa, otros inyectan enzimas y succionan su contenido.

- **Triturador (TR):** son considerados como herbívoros, debido a que se nutren de plantas vasculares acuáticas o algas filamentosas, de tallos u hojas y raíces enterradas en los sedimentos.
- **Raspadores (RS):** Consiguen su alimento de algas y microbios que se encuentran pegados en las rocas u otros sustratos.

Según Jacobsen (2003), la temperatura es un parámetro muy significativo que afecta la composición y riqueza de los macroinvertebrados. Además, la fluctuación del caudal también desempeña un papel determinante en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales, ya que las modificaciones temporales agotan los recursos alimenticios provocando alteraciones en las comunidades, donde los patrones de densidad y la composición taxonómica experimentan variaciones a lo largo del tiempo.

2.3 Calidad de Agua de Ríos

La calidad de agua es un término relativo y se lo puede definir como la composición físicoquímica y biológica de un cuerpo de agua, de acuerdo al uso que se le atribuya (Barrenechea, 2005). Los ecosistemas acuáticos pueden presentar variaciones espaciales y temporales en su calidad, debido a la presencia de diversos factores externos e internos al medio (Sierra, 2011). Para determinar y caracterizar los impactos existentes en hábitats acuáticos los principales parámetros indicadores son: temperatura, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, pH, salinidad, nutrientes, sólidos, agentes patógenos, compuestos orgánicos, entre otros (Soria, 2016).

El análisis físicoquímico es considerado como uno de los principales métodos para evaluar la calidad de agua de los ecosistemas hídricos (Koklu et al., 2010). Sin embargo, posee cierta desventaja como la de proporcionar valores de calidad en un tiempo específico, siendo este un limitante para determinar los cambios y alteraciones que ocurren en el medio acuático a lo largo del tiempo (Soria, 2016). Para complementar esta información, en la actualidad son utilizados los índices biológicos especialmente basados en organismos acuáticos, ya que permiten descubrir las alteraciones provocadas al medio, debido a que reaccionan ante cambios en las condiciones ambientales en las que viven (Álvarez, 2005).

2.3.1 Bioindicadores de Calidad o Condición Ecológica en Ríos

Los bioindicadores son organismos biológicos que ayudan a evaluar y detectar los cambios de la calidad ambiental de un ecosistema (Rosenberg & Resh, 1993). Para la evaluación del grado de contaminación de un ambiente acuático se debe realizar una selección idónea de los organismos biológicos y de igual manera tener el conocimiento previo del ecosistema que se va a estudiar (Gonzales et al., 2014). La comunidad bentónica más utilizada para determinar la calidad ecológica de un cuerpo de agua son los macroinvertebrados, estos organismos nos proveen métodos simples, baratos y sensitivos, gracias a las características biológicas y ecológicas que poseen (Gamboa et al., 2008).

2.3.2 Calidad Ecológica Mediante Índices Biológicos de Macroinvertebrados

La calidad ecológica se la puede definir como el estado de funcionamiento en el que se encuentra un ecosistema (Gamboa et al., 2008). Es de suma importancia el conocer y diagnosticar la salud de los medios acuáticos, debido a que nos ayuda a identificar los impactos negativos que provocan las actividades antrópicas, permitiendo generar estrategias que ayuden a disminuir los problemas de contaminación, proteger los ecosistemas acuáticos y mejorar la condición hídrica (Encalada et al., 2011). Entre los índices biológicos que se utilizan para evaluar la calidad ecológica de los sistemas hídricos se encuentran:

- **Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP):** este método biológico se caracteriza por su sencillez y rapidez en la aplicación, ya que los macroinvertebrados son usados como indicadores. Para ello, solo implica identificar los organismos hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia) (Roldán, 2003).
- **Andean-Amazon Biotic Index (AAMBI):** método biológico utilizado para evaluar la calidad del recurso hídrico de los ecosistemas acuáticos Andino-Amazónicos. Su principal ventaja es que se utiliza información taxonómica a nivel de familia de organismos invertebrados para determinar la calidad ecológica de los ríos (Encalada et al., 2019).

2.3.3 Asociación entre Calidad Ecológica e Hidromorfológica

La estructura de los ecosistemas fluviales comprende tanto la variedad de entornos y comunidades biológicas, como la interacción entre elementos como la calidad química del

agua, la forma y dimensiones del cauce, la vegetación de ribera y los flujos de agua, determinan el estado de su funcionamiento (Romero, 2017). Para evaluar la calidad ecológica de un sistema lacustre de una manera rápida y confiable es necesario conocer la situación biológica del río y de igual manera realizar un análisis de la hidromorfología del ecosistema, la información que se genere en este proceso será ponderada y combinada obteniendo de tal manera la evaluación de la calidad ecológica que servirá para gestionar estrategias que promuevan el cuidado y la preservación del recurso hídrico (Encalada et al., 2011).

2.4 Marco legal

Para la realización de esta investigación se ha contemplado necesario realizar una revisión bibliográfica de las leyes y reglamentos nacionales de la República del Ecuador, alineados en la preservación, el cuidado y la minimización de los impactos naturales de nuestro recurso hídrico.

2.4.1 Constitución de la República de Ecuador

La Constitución de la República de Ecuador es la norma suprema a la que se aplica a toda la legislación ecuatoriana a continuación se presenta los artículos más relevantes:

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. “Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad de agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (p.134).

Art. 411.- “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua, la sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo” (p.192).

Art. 412.- “La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con su enfoque ecosistémico” (p.193).

2.4.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

Actualmente es la norma ambiental más importante del país porque regula materias necesarias para una adecuada gestión ambiental a continuación se detallan los artículos más relevantes:

Art. 26.- Numeral 8 “Se menciona que a los Gobierno Autónomo Descentralizado Provinciales le corresponde controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido” (p.18).

Art. 27. – “Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados metropolitanos y Municipales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por los Gobiernos Autónomos Provinciales y la Autoridad Ambiental Nacional: 10 Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido” (p.19).

Art. 30.- Numeral 7 “Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del agua” (p.20).

Art. 191.- “Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizar el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto, se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción “[COA] (2017) (p.55).

2.4.3 Código Orgánico Integral Penal

Art. 251.- “La persona que, contraviniendo la normativa vigente, contamine, deseeque o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general los recursos hidrobiológicos, o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con una pena privativa de libertad de tres a cinco años. Se impondrá el máximo de la pena si la infracción es perpetrada en un espacio del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o si la infracción es perpetrada con ánimo de lucro o con métodos, instrumentos o medios que resulten en daños extensos y permanentes” (p.97).

2.4.4 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014)

Art. 3.- “El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el sumak kawsay o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución” (p.3).

Art. 12.- “Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley...” (p.5-6).

Art. 64.- “La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida...” (p.19).

Art.65.- “Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley” (p.19).

Art.79.- “La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos: a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak

kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación...” (p. 23).

2.4.5 Plan Nacional de Desarrollo (Creando Oportunidades)

El Objetivo 13 busca promover una gestión integral de los recursos hídricos proponiendo políticas de protección, recuperación, regeneración y conservación para un adecuado uso y aprovechamiento (Secretaria Nacional de Planificación, 2021).

2.4.6 Objetivos de Desarrollo Sostenible

El Objetivo 3, 6 y 11 tienen como finalidad garantizar una vida sana y promover el bienestar para la sociedad, asimismo el acceso al recurso hídrico, la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y además pretende conseguir ciudades y comunidades sostenibles (ONU, 2018).

2.4.7 Ordenanzas Locales

“La Ordenanza constitutiva de la comisión de medio ambiente, riesgos naturales e higiene del 24 de septiembre de 1998”.

“La Ordenanza para la protección de la calidad ambiental en lo relativo a la contaminación por desechos no domésticos generados por fuentes fijas del cantón Ibarra del 15 de marzo del 2001”.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

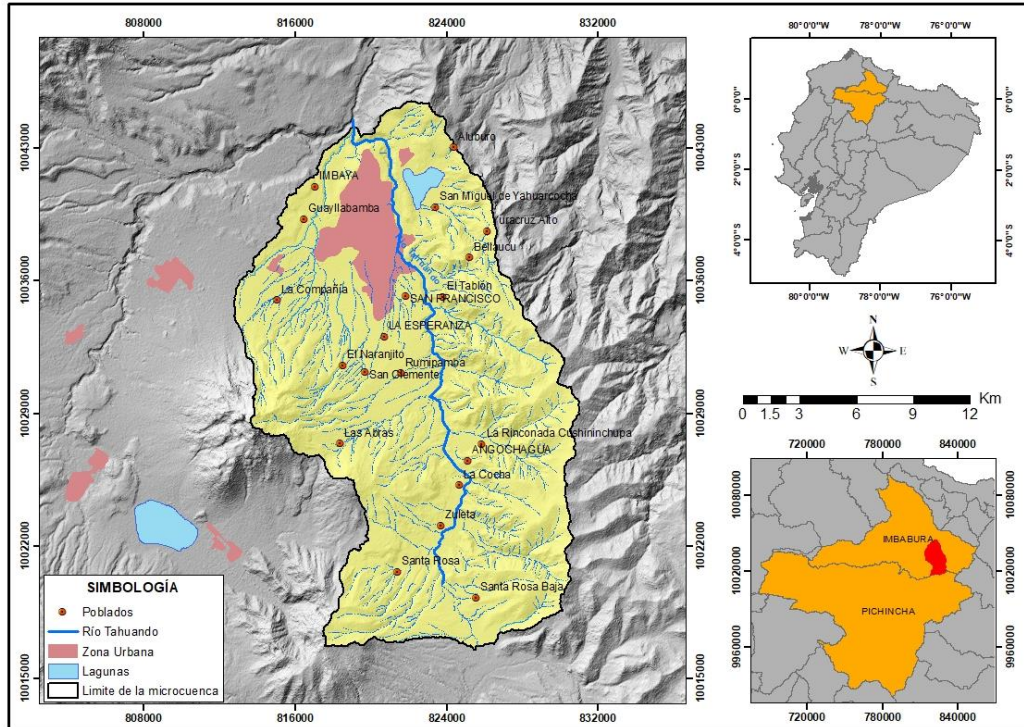
3.1 Descripción del Área de Estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la cuenca del río Tahuando (Figura 1), la cual posee una extensión de 34,3 ha. Se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, en los cantones de Ibarra, Antonio Ante y Otavalo. Pertenece a las parroquias de Angochagua, La Esperanza, San Francisco, Sagrario, Priorato e Imbaya (A). Su red hídrica está conformada por la quebrada La Chimba, El Chilco, San Pedro, Santa Martha, Chilca, Quibianchi, Punguhuayco, Rumipamba, Chucho de Torres, Lulunquí, Manzano Huaycu, San Clemente, Zagalachuaycu, Alcantarilla, San Antonio Taguarín, La Compañía y el río Cariacu y Chorlaví (Cuasapud, 2017).

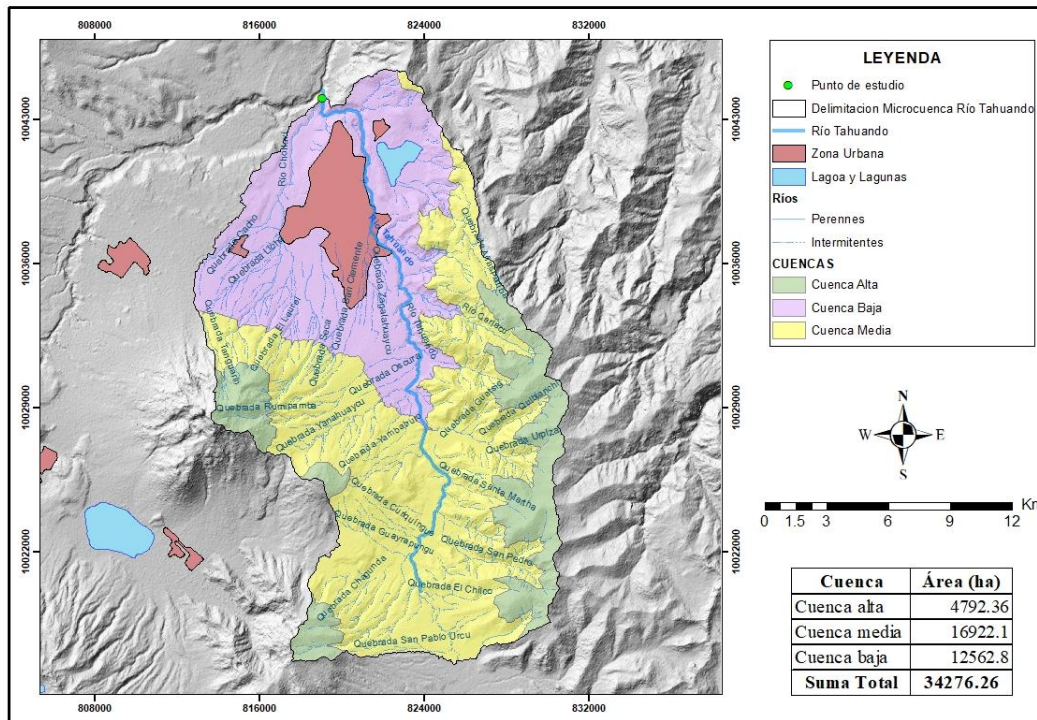
Figura 1

A. Mapa de ubicación de la cuenca del río Tahuando y **B.** Mapa delimitación de la cuenca alta, media y baja del río Tahuando

A



B



La cuenca del río Tahuando posee una precipitación media anual de 992 mm y experimenta temperaturas que oscilan entre 4°C a 17°C, posee dos tipos de climas según Pourrut et al. (1983), el primero es Ecuatorial frío de alta montaña y el segundo es Ecuatorial Mesotérmico semihúmedo a húmedo. Además, este sistema hídrico tiene un relieve que favorece la presencia de numerosas quebradas, dando lugar al origen de diversos cauces de agua (Donoso, 2012).

Según (Yáñez, 2019), los parámetros morfométricos de la cuenca permiten conocer la relación que existe entre la cobertura vegetal, la regulación hídrica y el manejo que se le da a la cuenca.

Tabla 1

Parámetros morfométricos de la cuenca del río Tahuando

Parámetro	Descripción
Tipo de descarga	Exorreica
Pendiente de la cuenca	31,1% - Escarpada
Factor de forma	0,6 - Ligeramente ensanchada

3.2 Métodos

3.2.1 Localización de Puntos de Muestreo

Para determinar los puntos de muestreo principalmente se realizaron mapas cartográficos con ayuda del software ArcGis 10.8, los mismos que fueron validados en dos salidas prospectivas, permitiéndonos tener un panorama más claro del estado en el que se encuentra nuestro sitio de estudio.

Para establecer el lugar y la cantidad de puntos de muestreo en el mes de abril se efectuaron tres salidas de campo en donde se identificaron a las perturbaciones antrópicas existentes de cada lugar, esto de acuerdo con su severidad y accesibilidad. Además, para detallar las características hidromorfológicas se utilizó el protocolo CERAs de (Encalada et al., 2011), realizando una evaluación cualitativa de ocho características relacionadas con la ribera y el canal fluvial del ecosistema acuático (Tabla A1), asignando valores de 0 a 5 de acuerdo con la Tabla A2.

3.2.2 *Recolección, Tratamiento y Análisis de Muestras*

La recolección de los organismos acuáticos (macroinvertebrados) se realizó en los puntos de muestreo establecidos previamente. Para ello se utilizó una red de mano que consiste en un marco de metal que sostiene una red cónica, tiene una longitud de malla de 300 μm . Los macroinvertebrados acuáticos se recolectaron utilizando la técnica de muestreo *kick-net* (remover agua y sedimento) por un tiempo de 5 minutos estratificados en los diferentes microhábitats presentes en los sitios de muestreo. Posteriormente, las muestras fueron tamizadas y clasificadas en bandejas blancas para después almacenarlas en recipientes pequeños (*ependorf*) con alcohol al 70%. Con la ayuda de un estereoscopio se procedió a identificar la familia a la cual pertenecen los organismos acuáticos mediante uso de las guías de macroinvertebrados acuáticos de Encalada et al. (2019) y (Encalada et al., 2011), teniendo en cuenta que según (Cabrera et al., 2021), el nivel de familia se considera adecuado dado que no existen claves taxonómicas a un nivel inferior para regiones tropicales. Además, se utilizaron las hojas de registro proporcionadas por Encalada et al. (2019) para determinar la abundancia de las especies.

3.2.3 *Cálculo de Índices Biológicos de Calidad BMWP-Col y AAMBI*

Para calcular la calidad biológica del río Tahuando se analizó el índice BMWP-Col y el índice AAMBI, puesto que, a pesar de que en Ecuador no existe un índice de calidad de agua propio basado en macroinvertebrados, este se considera apropiado para nuestro país ya que Colombia tiene condiciones ambientales similares (Cabrera-García et al., 2023). Por otro lado, el índice biológico BMWP-Col posee especies de macroinvertebrados acuáticos que no encontramos en el índice biológico AAMBI.

- **Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP-Col):** para calcular este índice se les asignó a los organismos un puntaje que se encuentra entre el 1 al 10, esto de acuerdo con la capacidad de tolerancia de la contaminación orgánica. Las familias más sensibles recibieron un puntaje de 10, en cambio las más tolerantes recibieron un puntaje de 1. La suma de los puntajes de todas las familias proporcionó el total, evaluando así la calidad del agua que tiene el medio (Tabla A3). El listado de las familias viene descrito por Roldán (2003) como se presenta en la (Tabla A4).
- **Andean-Amazon Biotic Index (AAMBI):** para el cálculo de este índice se les asignó a los macroinvertebrados acuáticos un puntaje del 1 al 10 de acuerdo con la tolerancia

de la contaminación orgánica descrita por Encalada et al. (2019) (Tabla A5). Las familias más tolerantes recibieron un puntaje de 1 y las familias más sensibles un puntaje de 10. La suma de los puntajes de todas las familias proporcionó el total, evaluando así la calidad biológica del río Tahuando (Tabla A6).

3.2.4 Asignación de Rasgos Funcionales y Condición Ecológica del Río

Para la identificación de los rasgos funcionales nos enfocamos en el rasgo del hábito de alimentación, debido a que este es considerado como un factor indispensable en la estructuración de las comunidades de invertebrados y también porque se encuentra vinculado entre la estrategia de alimentación y las funciones del ecosistema (Cabrera et al., 2021). De acuerdo con la Tabla A7, las características de los hábitos alimenticios de cada macroinvertebrado acuático recolectado se tomó de Crespo-Pérez et al., (2020); (Damanik-Ambarita et al., (2016); (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, (2014); (Tomanova et al., (2008); (Nessimian et al., (1998); (Vargas (2018) y (Ouattara et al., (2022).

Mediante el uso del protocolo CERAs (Tabla A1) de (Encalada et al., 2011), se determinó las características hidromorfológicas del río Tahuando el mismo que al combinar con la calidad biológica dio como resultado la calidad ecológica del río, las dos evaluaciones dan como resultado diferentes parámetros representados por colores: Azul para una calidad ecológica excelente, verde cuando la calidad ecológica es buena, amarillo si la calidad ecológica es moderada, naranja si la calidad ecológica es mala y rojo si la calidad ecológica es pésima.

3.2.5 Análisis de Datos

A través de los datos recolectados de parámetros fisicoquímicos e hidromorfológicos, comunidades de macroinvertebrados, índices y grupos funcionales se realizó un Análisis Exploratorio de Datos (EDA) obteniendo las medidas de tendencia central de la información, generando tablas resumen que faciliten su comprensión. Se elaboraron clusters para representar gráficamente la abundancia relativa de los grupos funcionales de los sitios, agrupados por clase de calidad del agua, expresada como clases BMWP-Col y AAMBI. En cada sitio, se calculó la abundancia relativa de cada grupo funcional. Posteriormente, la abundancia relativa de los grupos por sitio se representa mediante un gráfico de barras en función a los grupos funcionales de alimentación (GFA) y los lugares se ordenaron de forma ascendente. Se aplicó un Análisis Multivariado Permutado de la Varianza (PERMANOVA) con los datos de los sitios de

muestreo, el primer PERMANOVA se aplicó entre las clases de BMWP para los GFA y variables ambientales luego se realizó otro PERMANOVA entre las clases de AAMBI para los GFA y variables ambientales. Se aplicaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad a los datos y de esta forma se determinó si influye las condiciones ambientales en las variables abióticas y bióticas en estudio.

Posteriormente se realizó una correlación simple mediante el coeficiente de Spearman entre las variables fisicoquímicas, índices BMWP y AAMBI e hidromorfológicos, es importante mencionar que se consideró como una buena correlación a partir de los valores de 0,7 ya que mientras más se acerca a 1 la correlación es mejor. Además, se desarrolló un Análisis de Componentes Principales (ACP) con las variables ambientales mediante el software Statgraphics versión 18-X64, luego se efectuó un Análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) para analizar la similitud entre los sitios de estudio, los grupos funcionales de alimentación, el índice BMWP-Col y AAMBI y las variables ambientales. Los análisis de NMDS y PERMANOVA se implementaron en R-Studio mediante los paquetes factor extra y vegan, lattice, adonis y psych (Durán et al., 2016).

3.3 Materiales y Equipos

Tabla 2

Materiales y equipos de la investigación

Materiales/Equipos	Proceso/ actividad
Redes tipo D	Recolección de macroinvertebrados
Red de mano estándar	Recolección de macroinvertebrados
Estereoscopio	Identificación de macroinvertebrados
Fichas de campo (CERAs)	Identificación de las especies
Caudalímetro	Medición del caudal
Multiparámetro	Medición de parámetros
GPS	Ubicación de la zona
Etiquetas	Diferenciar las muestras
Frascos de vidrio	Clasificación de los macroinvertebrados
Bandejas blancas	Clasificación de especies
Cajas Petri	Identificación de las especies
Botas de caucho	Traslado a puntos de muestreo
Guantes de látex	Manipulación en el campo y laboratorio
Estacas	Limitación de los sitios de muestreo
Piolas	Marcar la distancia de los cuadrantes
Guías taxonómicas	Identificación taxonómica de las especies

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

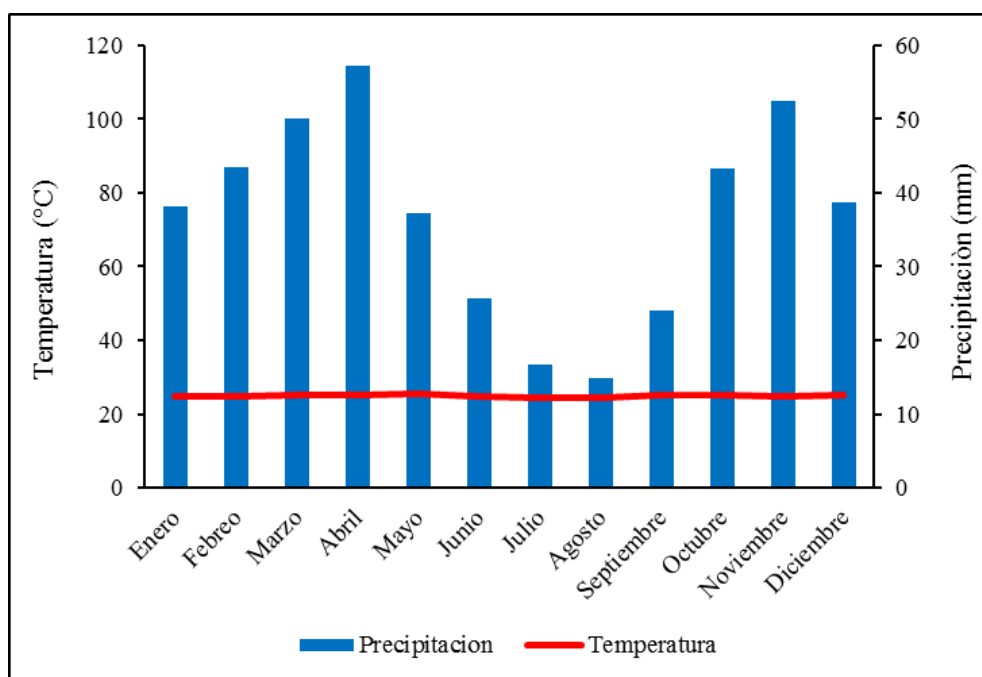
4.1 Evaluación de las Características Hidromorfológicas y Perturbaciones Antrópicas del Río Tahuando para determinar los puntos de muestreo

4.1.1 Características meteorológicas y condiciones actuales del área de estudio

El clima de la cuenca del río Tahuando se caracteriza por presentar un régimen anual de precipitaciones de tipo ecuatorial, se observan dos picos pluviométricos, uno en el mes de abril (104,9 mm) y otro en el mes de noviembre. Mientras que los meses que presentan menos precipitación son justamente junio, julio y agosto (Figura 2). Los datos detallados de la precipitación y temperatura mensual son con un promedio de 30 años.

Figura 2

Climograma de la cuenca del río Tahuando

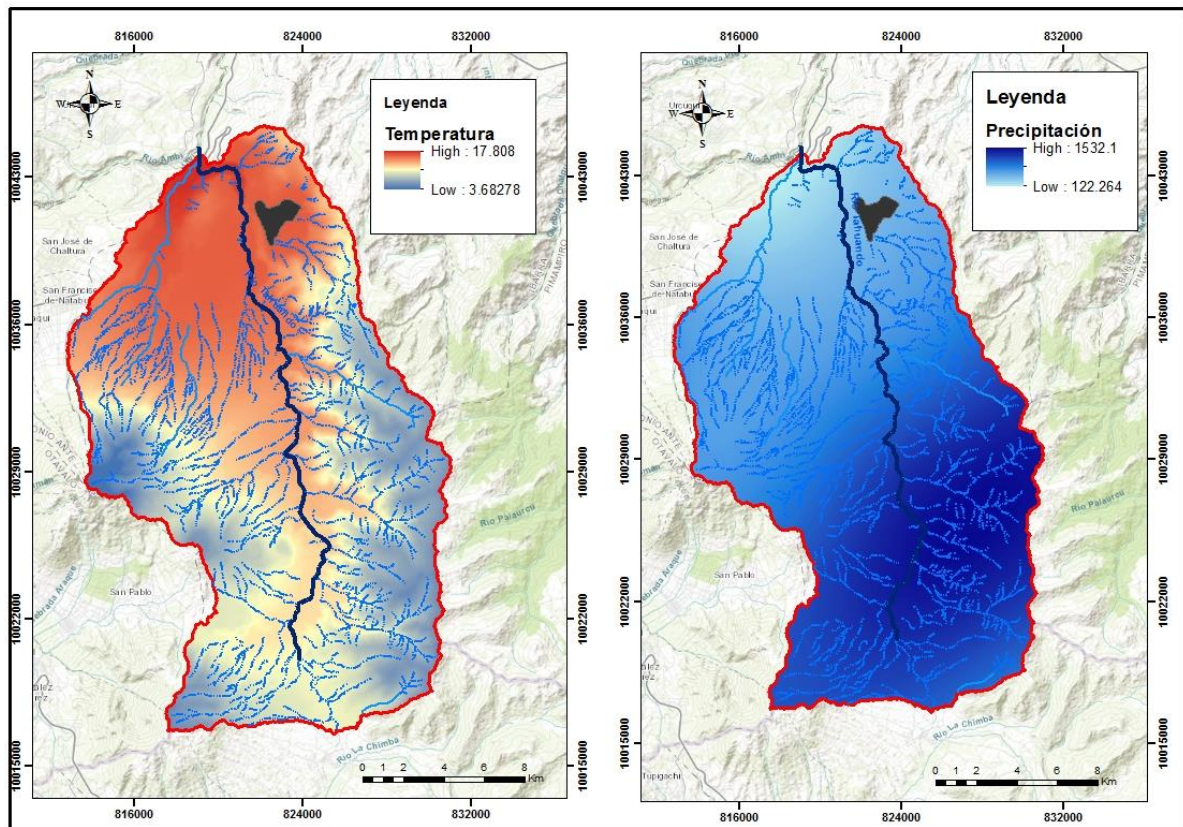


La cuenca del río Tahuando cuenta con dos pisos climáticos, el ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña, con una temperatura máxima de 17°C en época seca y una mínima de 4°C en época lluviosa, y una precipitación media anual de 942,9 mm (Figura 3). En relación con el estudio de Jiménez et al. (2019) la temperatura máxima varía entre -2.4°C y 17°C la temperatura de la parte alta y baja varían por la presencia de los dos pisos

altitudinales, presenta una precipitación media de 992.1 mm. Comparando los datos de temperatura y precipitación, en la parte alta de la cuenca la temperatura es baja por ello la presencia de precipitaciones es mayor que la zona de la parte baja de la cuenca ya que el clima es seco existiendo así un aumento de temperatura y baja concentración de precipitaciones.

Figura 3

Mapa de temperatura y precipitación de la cuenca del río Tahuando

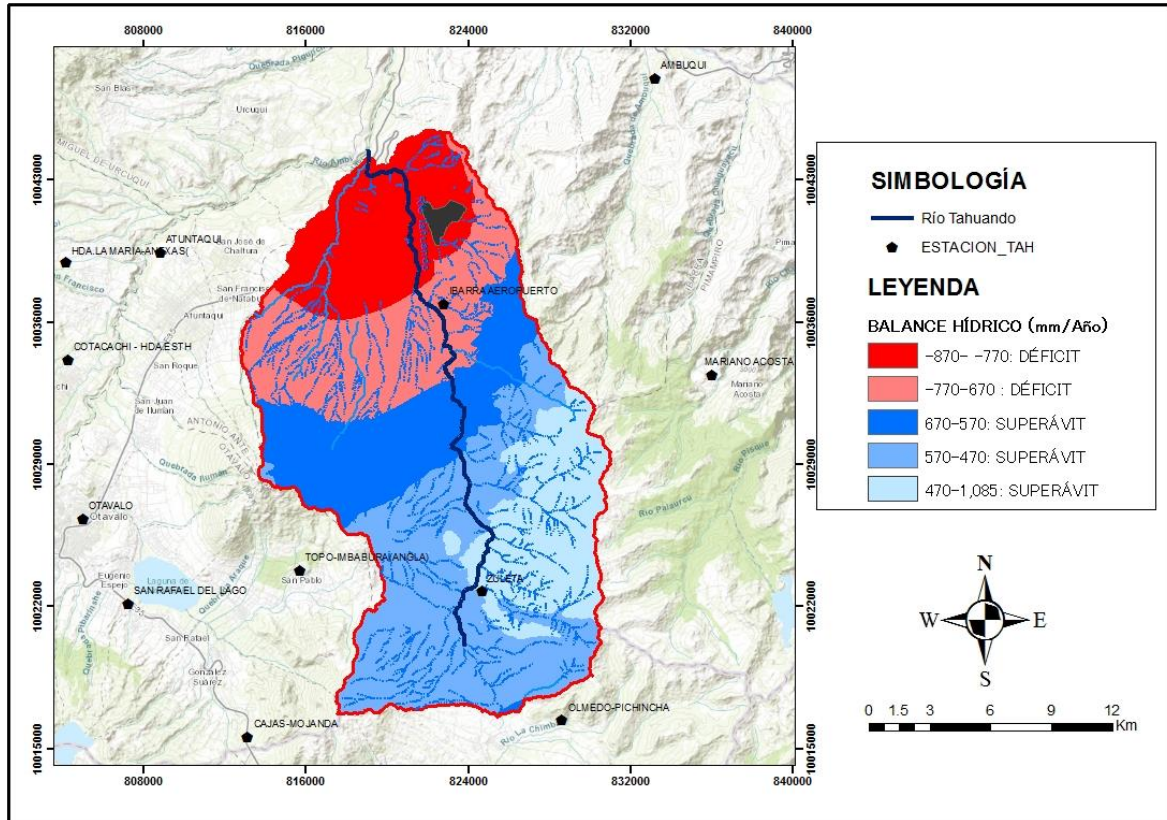


En el análisis detallado del mapa de balance hídrico (Figura 4) se aprecia que la parte media y alta de la cuenca del río Tahuando se halla en un mayor superávit de agua presentando valores entre 670 y 1085 mm/Año, se debe a que se encuentra en una mayor acumulación de agua como es la zona de páramo y bosques, mientras que el balance más bajo fue en la parte baja de la cuenca ya que se encuentra en un ecosistema de zonas de cultivos y pastizales, el recurso hídrico es más usado en diferentes actividades antrópicas presentando los valores de -870 a 670. mm/Año. Comparando los resultados de este estudio con Jiménez et al. (2019), se afirma que la zona con un mayor superávit de agua se encuentra dentro de la zona de conservación del páramo presentando una acumulación de 99.3 mm de agua durante el periodo

de lluvias mientras que el más bajo se dio en los ecosistemas de pastizales y zonas de cultivo, donde el déficit llegó a -27.5 mm.

Figura 4

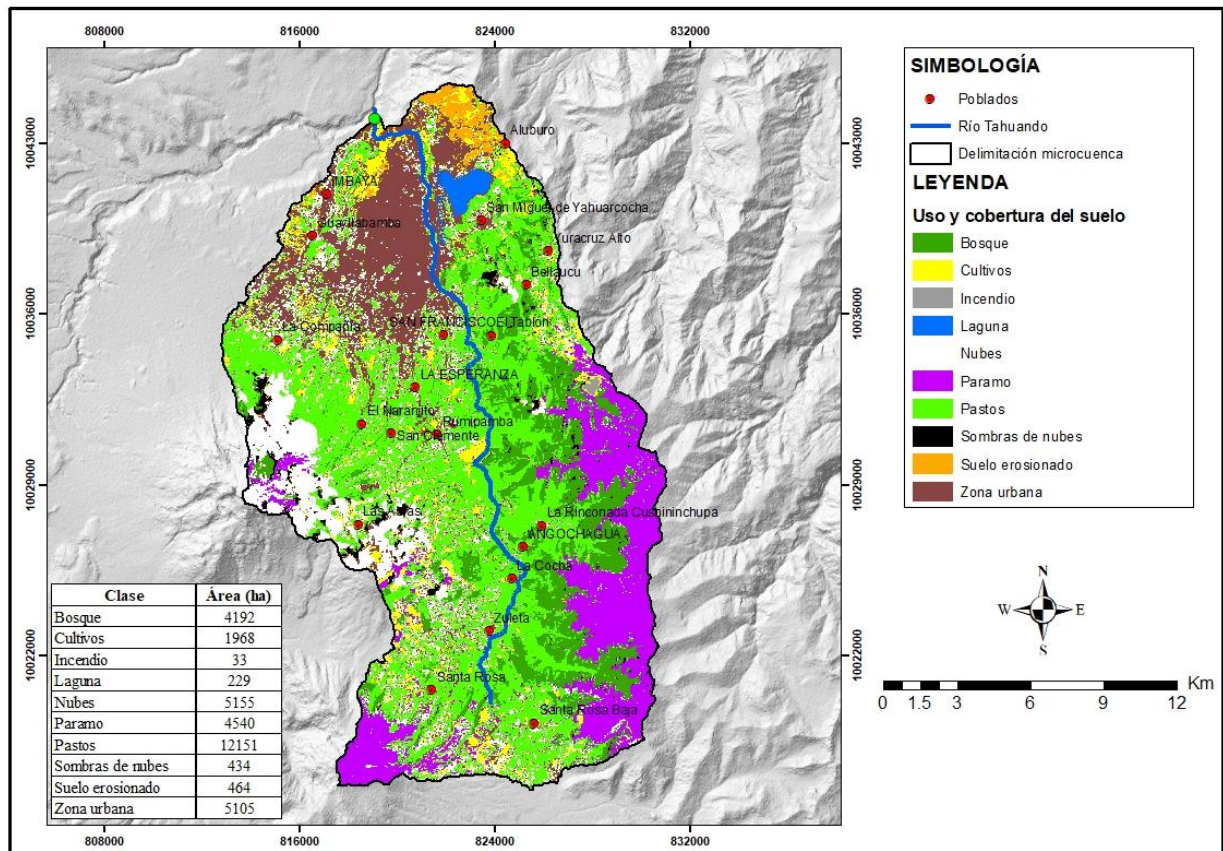
Mapa de balance hídrico de la cuenca del río Tahuando



Actualmente el uso y cobertura del suelo de la cuenca del río Tahuando (Figura 5) se encuentra cubierta en su mayoría por pastos con un total de 12 151 ha, seguido de la zona urbana que cubre alrededor de 5 105 ha y los ecosistemas de páramo que comprenden un total de 4 540 ha a lo largo de la cuenca. Por otro lado, las superficies con menor representatividad, por ocupar menos espacio en toda la superficie del río son los incendios (33 ha), cuerpo de agua (229 ha) y suelo erosionado (464 ha). De acuerdo con el estudio realizado en el río Tahuando por Rosero (2017), existía una mayor extensión de cultivos (10,9 ha), cobertura vegetal de páramos y bosques (19,7 ha) y cuerpo de agua (277 ha). De otro modo, la superficie que ocupa las zonas urbanas (2,0 ha) ha ido incrementándose con el transcurso del tiempo, indicando que existe una creciente poblacional dentro de la cuenca del río Tahuando.

Figura 5

Mapa de uso y cobertura de suelo de la cuenca del río Tahuando



4.1.2 Selección de sitios de muestreo

Para realizar esta investigación se tomaron en cuenta un total de 6 puntos de muestreo a lo largo del río Tahuando (Figura 6), de acuerdo con las características hidromorfológicas (Tabla 4) y perturbaciones antrópicas (Tabla 5). El punto 1 se encuentra en la comunidad de Santa Rosa a una altitud de 3 154 msnm, de acuerdo con sus características morfométricas posee un caudal de 109 l/s, una profundidad media de 0,14 m y el ancho de 2,39 m. Los puntos 2, 3 y 4 se encuentran ubicados en la comunidad de Zuleta, precisamente dentro de la hacienda de la comunidad. El punto 2 se encuentra a una elevación de 2 065 msnm, presentando un caudal de 217 l/s, una profundidad media de 0,16 m y un ancho de 2,42 m. El punto 3 está a una elevación de 2 889 msnm, posee un caudal de 91 l/s, una profundidad media de 0,13 m y un ancho de 2,59 m. El punto 4 se encuentra a una altitud 2 883 msnm, tiene un caudal de 722 l/s, profundidad media 0,27 m y ancho de 3,9 m. Por otro lado, el punto 5 se encuentra en la comunidad de Angochagua a 2 790 msnm, dispone de un caudal con 1158 l/s, una profundidad media de 0,29 m y ancho de 6,93 m. Finalmente, el punto 6 se sitúa en el Tejar a una elevación

de 2 313 msnm, mismo que presenta un caudal de 3 013 l/s, una profundidad media de 0,40 m y un ancho de 4,49 m.

Figura 6

Mapa de los puntos de muestreo en la cuenca del río Tahuando

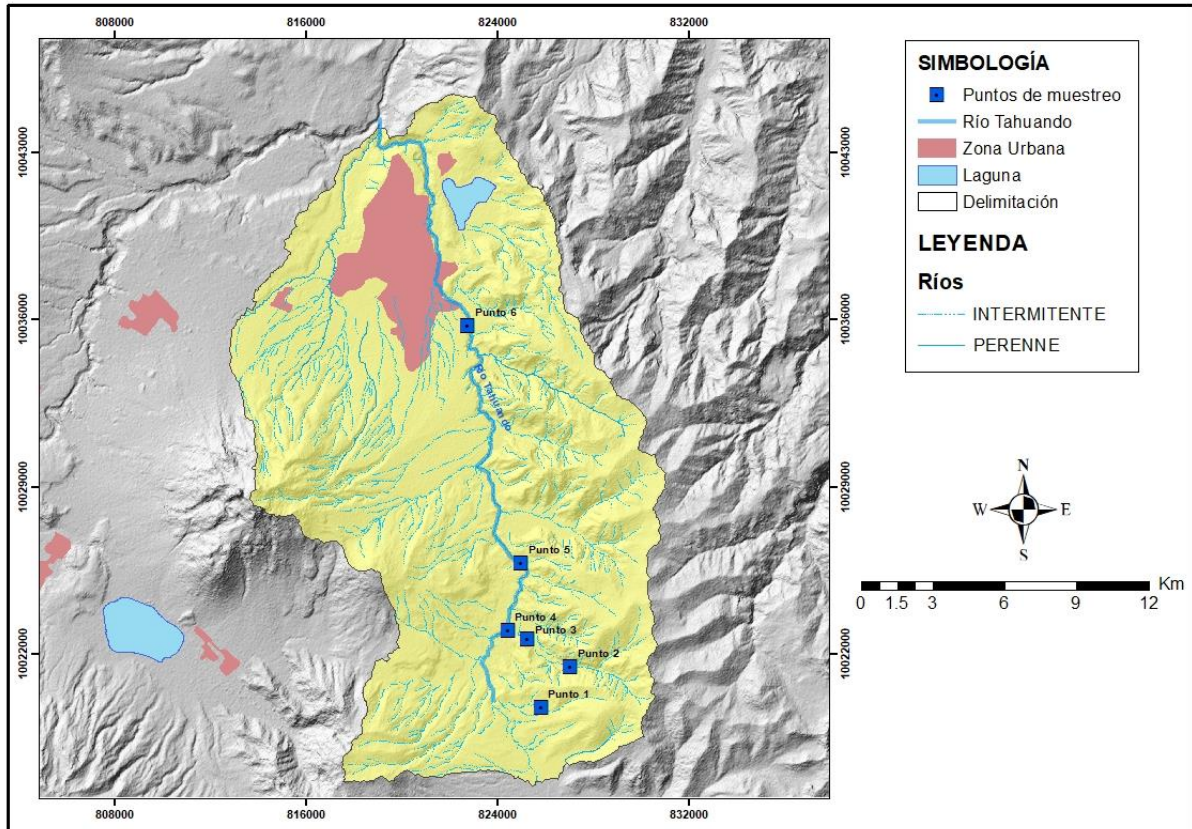


Tabla 3

Puntos de muestreo de la cuenca del río Tahuando

Parte de la cuenca	Sitios	Caudal (l/s)	Profundidad media (m)	Ancho	Latitud	Longitud
Media	Santa Rosa (Punto 1)	109	0,14	2,39	0°10'44.2" N	78°04'24" W
Media	Zuleta 1 (Punto 2)	217	0,16	2,43	0° 11' 39.9" N	78° 03' 44.3" W
Media	Zuleta 2 (Punto 3)	91	0,13	2,59	0° 12' 17.7" N	78° 04' 41.8" W
Media	Zuleta 3 (Punto 4)	722	0,270	3,9	0° 12' 28.4" N	78° 05' 08.6" W
Media	Angochagua (Punto 5)	1158	0,29	6,93	0° 14'00.2" N	78° 04' 50.7" W
Baja	El Tejar (Punto 6)	3013	0,40	4,49	0°19'23.9" N	78°06'02.5" W

4.1.2.1 Características hidromorfológicas

Se identificó que el río Tahuando se encuentra rodeado en mayor porcentaje por pastos y zonas agrícolas, mismos que sirven de sustento para sus habitantes, ya que lo utilizan para poder alimentar a sus animales. También, se observó que en la mayoría de los puntos muestreados existe basura y escombros, provocando el deterioro paisajístico del lugar. Por otro lado, se determinó que en el canal fluvial existe una presencia considerable de bloques, piedras, cantos, grava y arena. Además, se estableció que a lo largo del sistema hídrico existen 4 tipos de regímenes de velocidad y profundidad (rápido-profundo, rápido- somero, lento-somero y lento-profundo).

A continuación, se define las características hidromorfológicas evaluadas de cada punto de muestreo:

- **Punto 1:** se ha identificado un ecosistema de mala calidad debido a que su páramo se encuentra degradado porque está cubierta de zonas agrícolas y pastos con lo que se alimenta a la ganadería, afectando a la continuidad de la ribera ya que se presentan parches interrumpidos. Además, se observó que existen una mínima cantidad de basura y escombros. El canal fluvial se encuentra modificado presentando tres tipos de regímenes y profundidades, y cinco diferentes tipos de sustratos.
- **Punto 2:** este sitio presenta una calidad buena porque se pudo observar que existía una gran cantidad de matorral natural. Sin embargo, en su vegetación de ribera existieron parches interrumpidos por pastos. Además, se pudo apreciar un paisaje próximo de vegetación natural sin basura, ni escombros. Posee un canal fluvial natural ya que no se encontraron modificaciones en el mismo. Se encuentra compuesto por cinco tipos de sustratos, tres tipos de elementos de heterogeneidad y tres tipos regímenes de velocidad y profundidad.
- **Punto 3:** la calidad de este lugar es moderada debido a que se encontró una gran proporción de suelo con cultivos y pastos, por lo que se presentaron pequeños parches alejados entre sí. En su ribera se presencié un porcentaje escaso de basuras y escombros. Su canal fluvial ha sido escasamente modificado por el ser humano y se pudo apreciar cinco distintos tipos de sustratos, cinco elementos de heterogeneidad y cuatro tipos de velocidades y profundidades.

- **Punto 4:** se determinó que este lugar se encuentra con una calidad moderada, ya que se halla rodeado de pastos que sirven como alimento para el ganado, presentando así manchas aisladas a lo largo de la ribera. La presencia de basura y escombros es escasa en este lugar. Por otro lado, la naturalidad del canal fluvial se encuentra modificado, debido a que el recurso hídrico se utiliza para el riego de los sembríos. Finalmente, el río está compuesto de cinco tipos de sustratos, tres tipos de regímenes de velocidad y profundidad y dos elementos de heterogeneidad.
- **Punto 5:** este punto se encuentra en un estado moderado de calidad, debido a que como en la gran mayoría de ecosistemas está conformado por cultivos y pastos, formándose de tal manera una continuidad de la ribera de manchas aisladas. La presencia de basuras o escombros en este sitio es escasa. Sin embargo, la naturalidad del canal fluvial ha sufrido grandes modificaciones porque se presentó infraestructura y varios elementos de urbanismo. El río está compuesto por cinco tipos de sustratos, cuatro tipos de regímenes de profundidad y velocidad y cuatro elementos de heterogeneidad.
- **Punto 6:** este sitio se encuentra con una calidad hidromorfológica moderada, debido a que en su mayoría se componía por pastos y cultivos, es por ello por lo que en la continuidad de vegetación de ribera se presentan manchas aisladas. Existe una escasa presencia de basura o escombros a pesar de que en este lugar se realizan actividades turísticas y recreativas. El canal fluvial se encuentra modificado, debido a que es también utilizado para riego en cultivos y pastos. Además, está compuesto por cinco tipos de sustratos, cinco tipos de elementos de heterogeneidad y tres tipos de regímenes de profundidad y velocidad.

En la investigación efectuada por Acosta et al. (2009) en dos ríos altoandinos de Ecuador y Perú se determinó que conforme desciende la altitud, las formaciones vegetales van cambiando. Sin embargo, debido a la presencia humana y las actividades que realizan para su subsistencia se ha visto un cambio en la cobertura del suelo de las cuencas hidrográficas causando un deterioro en sus ecosistemas y provocando la pérdida de elementos bióticos y abióticos autóctonos (Cuasapud, 2017). indicó que un gran porcentaje de la superficie circundante del río Tahuando se encuentra cubierta por pastos que sirven de alimento para el ganado, y cultivos agrícolas que ayudan a la generación de recursos económicos. Además, debido al crecimiento poblacional, este sistema hídrico se ha modificado, debido a la

construcción de caminos, infraestructura o sistemas de riego, generando también la presencia de basuras y escombros.

Tabla 4

Descripción de las características hidromorfológicas de los puntos de muestreo

Santa Rosa (Punto 1)	
	
Característica	Descripción
Vegetación de ribera de paramo	Páramo degradado (Hierbas cortas y pisadas)
Continuidad de ribera	Manchas grandes
Conectividad de la vegetación de ribera	El paisaje próximo a la zona de ribera se encuentra compuesto por pastos y cultivos
Presencia de basuras y escombros	Ribera con basuras y/o escombros escasos
Naturalidad del canal fluvial	Canal con estructuras rígidas parciales
Composición del sustrato	Bloques, piedras, cantos, grava y arena
Regímenes de velocidad y profundidad del río	Rápido y somero Rápido y profundo Lento y profundo
Elementos de heterogeneidad	Hojarasca, diques naturales, tronco y ramas
Zuleta 1 (punto 2)	



Característica	Descripción
Vegetación de ribera de bosque Continuidad de ribera Conectividad de la vegetación de ribera Presencia de basuras y escombros Naturalidad del canal fluvial Composición del sustrato Regímenes de velocidad y profundidad del río Elementos de heterogeneidad	Matorral arbustos Manchas grandes El paisaje próximo a la zona de ribera se encuentra compuesto mayormente por vegetación natural Ribera sin basuras, ni escombros Canal natural Bloques, piedras, cantos, grava y arena Rápido y somero Lento y somero Lento y profundo Hojarasca, diques naturales, raíces sumergidas

Zuleta 2 (Punto 3)



Característica	Descripción
----------------	-------------

<p>Vegetación de ribera de bosque</p> <p>Continuidad de ribera</p> <p>Conectividad de la vegetación de ribera</p> <p>Presencia de basuras y escombros</p> <p>Naturalidad del canal fluvial</p> <p>Composición del sustrato</p> <p>Regímenes de velocidad y profundidad del río</p> <p>Elementos de heterogeneidad</p>	<p>Compuesta por pastos</p> <p>Manchas aisladas</p> <p>El paisaje próximo a la zona de ribera se encuentra compuesto por pastos</p> <p>Ribera con basuras y/o escombros escasos</p> <p>Natural</p> <p>Bloques, piedras, cantos, grava y arena</p> <p>Rápido y somero</p> <p>Rápido y profundo</p> <p>Lento y somero</p> <p>Lento y profundo</p> <p>Hojarasca, diques naturales, raíces sumergidas, vegetación acuática sumergida (algas), troncos y ramas</p>
---	---

Zuleta 3 (Punto 4)



Característica	Descripción
<p>Vegetación de ribera de bosque</p> <p>Continuidad de ribera</p> <p>Conectividad de la vegetación</p> <p>Presencia de basuras</p> <p>Naturalidad del canal fluvial</p> <p>Composición del sustrato</p> <p>Regímenes de velocidad y profundidad del río</p> <p>Elementos de heterogeneidad</p>	<p>Pastos</p> <p>Manchas grandes</p> <p>Cultivos y pastos</p> <p>Ribera con basuras y/o escombros escasos</p> <p>Canal modificado por terrazas sin cemento</p> <p>Piedras, arena, lodo, bloques y cantos</p> <p>Rápido-somero</p> <p>Rápido-profundo</p> <p>Lento-profundo</p> <p>Rápido-somero</p> <p>Hojarasca, troncos y ramas</p>

Angochahua (Punto 5)



Característica	Descripción
<p>Vegetación de ribera de bosque</p> <p>Continuidad de ribera</p> <p>Conectividad de la vegetación</p> <p>Presencia de basuras</p> <p>Naturalidad del canal fluvial</p> <p>Composición del sustrato</p> <p>Regímenes de velocidad y profundidad del río</p> <p>Elementos de heterogeneidad</p>	<p>Cultivos y pastos</p> <p>Manchas grandes</p> <p>Cultivos y pastos</p> <p>Ribera con basuras y/o escombros escasos</p> <p>Canal con estructuras rígidas parciales</p> <p>Piedras, cantos, grava, arena y bloque</p> <p>Rápido-somero</p> <p>Rápido-profundo</p> <p>Lento-profundo</p> <p>Lento somero</p> <p>Hojarasca, troncos y ramas, raíces sumergidas, vegetación acuática sumergida (algas)</p>

Tejar (Punto 6)



Característica	Descripción
Vegetación de ribera de bosque	Pastos y cultivos
Continuidad de ribera	Manchas aisladas
Conectividad de la vegetación	Infraestructura-elementos de urbanismo
Presencia de basuras	Ribera con basuras y escombros escasos
Naturalidad del canal fluvial	Canal modificado por terrazas sin cemento
Composición del sustrato	Piedras, cantos, arena, grava y bloques
Regímenes de velocidad y profundidad del río	Rápido-somero Rápido-profundo Lento-somero
Elementos de heterogeneidad	Hojarasca, troncos y ramas, diques naturales, raíces sumergidas, vegetación acuática sumergida (algas)

4.1.2.1 Actividades Antrópicas

En el punto 1 se puede visualizar que existe varias modificaciones del ecosistema causadas por el ser humano (Tabla 5), esto se debe a que se realizan varias actividades, principalmente de agricultura, ganadería y construcción de caminos. Por otro lado, en el punto 2 no se observaron grandes actividades antrópicas (recreativas) que puedan deteriorar gravemente e inestabilizar el equilibrio de los elementos bióticos y abióticos presentes en el ecosistema. Finalmente, en los otros puntos (3, 4, 5 y 6) se pudo apreciar que las principales actividades (ganadería, agricultura, recreativas, etc.) realizadas en estos sitios, si generan cambios en el aspecto físico del ecosistema. Gamarra et al. (2017) indica que los impactos ambientales y cambios físicos de los ecosistemas fluviales varían en torno a las intervenciones antrópicas que se vaya suscitando en las áreas circundantes a los sitios de muestreo.

Tabla 5*Actividades antrópicas y evaluación de la calidad hidromorfológica de los sitios de muestreo*

Punto	Actividades antrópicas	Calidad Hidromorfológica
1	Agricultura, ganadería, extracción forestal, ocupación humana, construcciones.	Mala
2	Agricultura, turismo, recreativas, ganadería	Buena
3	Agricultura, ganadería, deforestación, turismo, descargas de aguas residuales	Moderada
4	Mal manejo de residuos, descargas de aguas residuales, expansión de la zona urbana y actividades recreativas.	Moderada
5	Agricultura, ganadería, descargas de aguas residuales, mal manejo de residuos, deforestación de laderas y expansión de zona urbana, actividades turísticas.	Moderada
6	Turismo, descargas urbanas, agricultura, ganadería, pastoreo, actividades recreativas.	Moderada

4.2 Análisis la comunidad de macroinvertebrados acuáticos para la generación de índices biológicos

4.2.1 Diversidad de macroinvertebrados

Se analizaron un total de 1 877 individuos de macroinvertebrados pertenecientes a 29 familias diferentes. El punto de muestreo en donde se encontró mayor abundancia fue en el punto 4 (Zuleta 3), en el cual se hallaron 623 individuos pertenecientes a 20 familias. Seguido de la zona El Tejar (punto 6) con 483 individuos pertenecientes a 14 familias. Por otro lado, los puntos donde la abundancia de individuos es menor fueron los puntos de muestreo 1 y 5 (Santa Rosa y Angochagua), el primero con 150 organismos pertenecientes a 12 familias y el segundo con 117 taxones pertenecientes a 14 familias. En cuanto a la riqueza, se determinó que las familias Baetidae, Hyalellidae y Ceratogonidae poseen una mayor cantidad de taxones (en total 354, 252 y 218 individuos, respectivamente).

Las familias Hyalellidae, Tipulidae, Ceratopogonidae y Chironomidae fueron encontrados en todas las zonas muestreadas. Comparando nuestro estudio con respecto al Machado et al. (2018) se verificó que en el mes de abril (Temporada lluviosa) se puede encontrar una disminución de la abundancia y riqueza de taxones a comparación de la época

seca ya que el caudal hidrológico varía durante las épocas, influyendo directamente en las fuentes de alimentos y disposición de hábitats para macroinvertebrados, por tal motivo su diversidad, composición y presencia de organismos tolerantes o sensibles se ve afectada, afirmando también con el estudio de (Ríos et al., 2013) en el río Gariche que menciona que cuando la precipitación pluvial es baja se presenta una abundancia menor de macroinvertebrados.

Tabla 6

Lista de taxones encontrados, abundancia total, puntos de muestreo donde han sido encontrados los organismos y valor de tolerancia de acuerdo con los índices biológicos

Orden	Familia	Abundancia Total	Puntos de muestreo	BMWP/Col	AAMBI
Amphipoda	Hyalellidae	252	1,2,3,4,5,6	7	6
Arachnida	Hydrachnidae	5	2		4
Blattodea	Blattellidea	12	1,2,4		4
Chromadorea	Chromadoridae	90	3,4,5		4
Coleoptera	Elmidae	34	1,2,3,4,6	6	5
	Lampyridae	37	1,2,4	10	5
	Scirtidae	94	1,2,4,5,6	7	5
	Ptilodactylidae	15	2,4,5,6	10	5
	Staphylinidae	5	2,4,6	6	3
	Hydraenidae	1	2	9	5
	Diptera	Tipulidae	25	1,2,3,4,5,6	3
Simuliidae		79	1,2,4,6	8	5
Psychodidae		66	2,4,6	7	3
Ceratopogonidae		218	1,2,3,4,5,6	3	4
Chironomidae		206	1,2,3,4,5,6	2	2
Empididae		19	2,4,5	4	4
Limoniidae		40	1,2,4		4
Muscidae		2	3,5	2	2
Stratiomyidae		1	6	4	4
Ephemeroptera		Leptophlebiidae	100	1,2,3,4,5	9
	Oligoneuriidae	81	2,3,4,5,6	10	10
	Baetidae	354	6	7	4
Gastropoda	Physidae	4	3,5	3	3
Hirudinea	Glossiphoniidae	18	3,4	3	3
Oligochaeta	Lumbricidae	64	2,4,5		2
Ostracoda		8	5		3
Trichoptera	Leptoceridae	42	2,3,4,6	8	8
	Hydropsychidae	1	2	7	5
Turbellaria	Planariidae	4	1,2		5

4.2.2 Análisis de índices biológicos

La Tabla 7 indica los valores de índices de calidad de agua, en base al índice BMWP-Col hubo una variación entre los puntos de muestreo, presentando así solo un sitio como bueno mismo que corresponde al sitio 2 (Zuleta 1), el sitio 4 y 6 presentaron una calidad de agua moderadamente contaminada mientras que los sitios 1, 3 y 5 presentaron una calidad dudosamente contaminada, evidenciando una disminución de familias pero acentuándose la

presencia de macroinvertebrados más tolerantes a la contaminación como son aquellos de clase Díptera. Machado et al. (2018) desarrollaron un estudio sobre el análisis de macroinvertebrados del río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano y afirman que, en base al índice BMWP la abundancia y presencia de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera dio como resultado la presencia de una calidad de agua buena mientras que en los puntos de muestreo donde la calidad de agua era ligeramente contaminada se observó la presencia de macroinvertebrados más tolerantes a la contaminación algunos de ellos pertenecientes a los órdenes Díptera y Coleóptera concordando así con los datos obtenidos en el río Tahuando.

En base al índice AAMBI se encuentra estrechamente relacionado con el índice BMWP-Col coincidiendo con el resultado de que el sitio 2 (Zuleta 1) es aquel que presenta una muy buena calidad de agua, con respecto a los sitios 1, 3, 4, 5 y 6 representaron un estado bueno del recurso hídrico. Los puntos donde la calidad de agua bajó se debe a que dentro de la zona se presentan actividades agrícolas, ganaderas, recreativas, entre otras, confirmando la influencia negativa en la zona y el mal manejo de recursos. Por tal razón, Gutiérrez, (2014) menciona que las alteraciones provocadas por el ser humano pueden influir negativamente en la dinámica de la comunidad de macroinvertebrados, al generar nuevas condiciones de adaptabilidad dentro del sistema acuático, lo que define la presencia de especies sensibles o tolerantes a la contaminación orgánica.

Tabla 7

Calidad de agua mediante el uso de índices biológicos

Descripción	Sitios	BMWP-Col	AAMBI	Altitud (msnm)		
Santa Rosa	1	55	Dudosa	60	Buena	3 154
Zuleta 1	2	116	Buena	109	Muy buena	2 965
Zuleta 2	3	56	Dudosa	62	Buena	2 889
Zuleta 3	4	85	Moderada	80	Buena	2 883
Angochagua	5	60	Dudosa	65	Buena	2 790
Tejar	6	81	Moderada	54	Buena	2 313

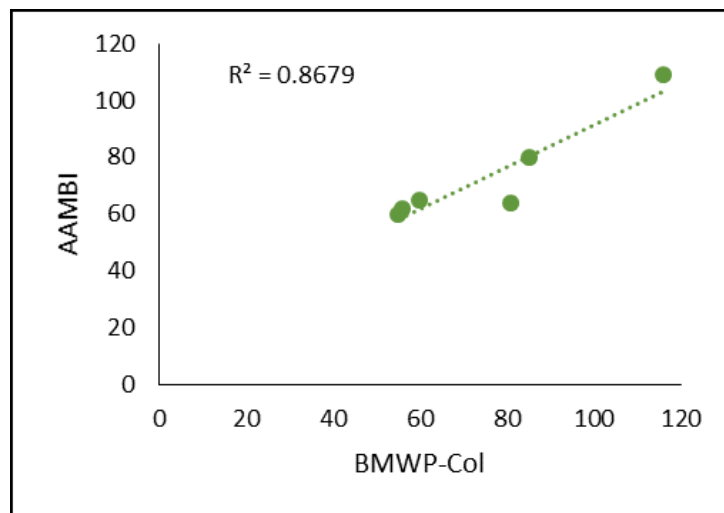
En la Figura 7 se presenta la correlación entre los índices BMWP-Col y AAMBI demostrando así que el valor de R^2 es de 0,867, el resultado es cercano a 1 por lo tanto existe

mucha relación entre las variables dándonos el 86,7% de similitud. Los dos índices nos indican las condiciones de cada sitio de estudio. Presentaron una alta similitud de calidad de agua entre los sitios 1, 3 y 5.

En el sitio 2 (Zuleta 1) se observó una mejor calidad de agua, por tal motivo la riqueza de especies fue mayor a comparación del resto de puntos presentando 22 familias de macroinvertebrados. Coincidiendo con el estudio de Duarte, (2017) afirma que los sitios que presentan una mejor calidad de agua presentan mayor riqueza de familias sensibles a la contaminación.

Figura 7

Correlación entre los índices biológicos AAMBI y BMWP/Col y los sitios de muestreo



4.2.3 Calidad Ecológica del río Tahuando

La Tabla 8 muestra la calidad ecológica del río en cada sitio de estudio. Se comparó la calidad hidromorfológica y biológica en función al índice AAMBI, la calidad ecológica es una combinación de medios bióticos y abióticos. En el punto 2 (Zuleta 1) la calidad ecológica fue buena ya que el puntaje obtenido en los datos de la calidad hidromorfológica fue de 31 puntos considerándola como buena, de igual manera el índice biológico también dio como resultado una calidad buena. La mayoría de macroinvertebrados presentes tenían un valor de 7 a 10 con respecto a la sensibilidad, a diferencia del punto 1,3, 4, 5 y 6 que se encuentran con una calidad ecológica moderada presentando valores en el rango de 21 a 26 puntos en la calidad hidromorfológica considerándola con una calidad moderada y según el índice biológico como buena. Comparando con el estudio de Meneses (2019) realizado en el río Tota en Colombia

menciona que las condiciones hidromorfológicas, fisicoquímicas y biológicas son más favorables en la parte alta de la cuenca, ya que en la parte media y baja es evidente el impacto producido por las perturbaciones humanas, lo que resulta favorable para la presencia de las familias tolerantes a la contaminación.

Tabla 8

Análisis de la calidad ecológica mediante el uso del índice biológico (AAMBI) e hidromorfológicos

		CALIDAD BIOLÓGICA (AAMBI)				
		Calidad excelente	Calidad buena	Calidad moderada	Calidad Mala	Calidad pésima
CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA	35-40					
	30-35		Punto 2	Punto 3		
	20-28			Punto 1/ Punto 4/ Punto 5		
	10-20			Punto 6		
	0-10					

La Tabla 9 muestra la calidad ecológica del río en función al índice BMWP-Col, en este caso los datos obtenidos del sitio 2 presentan una calidad hidromorfológica de 31 puntos, sin embargo, la calidad biológica del índice BMWP-Col fue buena por lo tanto relacionando los dos resultados dio una calidad ecológica excelente, el punto 4 y 6 presentaron una calidad hidromorfológica de 21 y 26 puntos lo cual es considerado como una calidad moderada, con respecto a la calidad biológica del índice también se obtuvo una calidad biológica moderadamente contaminada, relacionando los dos análisis se obtuvo una calidad ecológica buena. Finalmente, entre el sitio 1, 3 y 5 la calidad biológica fue dudosamente contaminada ubicándolo así en una calidad ecológica moderada, en estos sitios se presentan macroinvertebrados tolerantes a la contaminación que tienen un valor que va de 1 a 5 respectivamente. Castro (2015) afirma que la presencia de macroinvertebrados refleja el efecto acumulativo de condiciones actuales y pasadas que perturban el equilibrio biótico del ecosistema.

Tabla 9

Análisis de la calidad ecológica mediante el uso del índice biológico (BMWP/Col) e hidromorfológicos

		CALIDAD BIOLÓGICA (BMWP-Col)				
		Calidad excelente	Calidad buena	Calidad moderada	Calidad Mala	Calidad pésima
CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA	40					
	30	Punto 2				
	20		Punto 4/ Punto 6	Punto 1/ Punto 3/Punto5		
	10					

4.3 Evaluación de los grupos funcionales de alimentación de macroinvertebrados

4.3.1 Grupos Funcionales Alimenticios

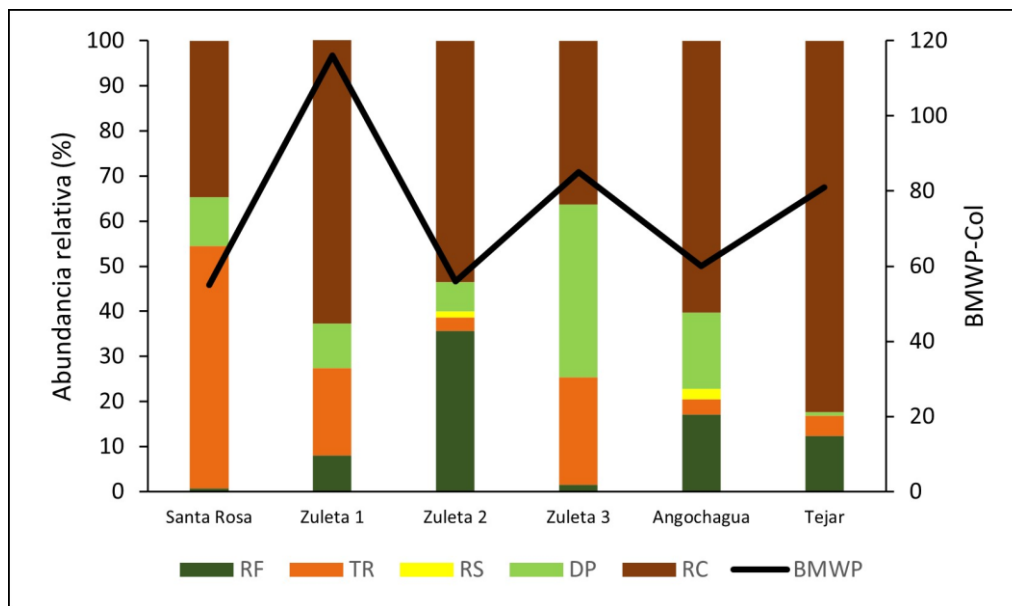
De los 1 877 macroinvertebrados acuáticos analizados en el laboratorio, se les asignó el grupo funcional alimenticio (GFA) a 1 767 organismos pertenecientes a 26 familias. Los organismos restantes o a los cuales no se les asignó el GFA pertenecen a las familias Blattellidae, Chromadoridae y la clase Ostracoda. En cuanto a las dos familias no identificadas se les considera como organismos semiacuáticos, es decir que pertenecen a ecosistemas terrestres, pero su presencia en los sistemas hídricos se debe a que en alguna etapa de su ciclo de vida necesitan del agua para desarrollarse o también, que se suscitó un evento natural o antrópico que removió o erosionó su hábitat propio (Cumblera & Rodríguez, 2018). Por otro lado, el GFA de la clase Ostracoda no fue identificado en estudios anteriores debido a que tiene una gran variedad de hábitos de alimentación como lo afirma Mesquita-Joanes et al. (2012), por lo que su ecología alimenticia es variable ya que se han encontrado dentro de su organismo residuos de algas, detritos, invertebrados o incluso vertebrados.

En la Figura 8 nos muestra que en el punto 4 del río existió mayor diversidad de GFA, relacionándose de tal manera con una calidad biológica moderada del índice BMWP-Col. Además, en los puntos de muestreo 1, 3 y 5 se determinó que existe una calidad biológica del

recurso hídrico moderada. Por otro lado, en el punto 2 se encontró una mayor diversidad con 21 taxones, los cuales pertenecen a los cinco GFA que son RF (8,4%), TR (18,9%), RS (0,32%), DP (9,7%) y RC (62,7%).

Figura 8

Composición de los grupos funcionales de alimentación por los sitios muestreados con respecto al índice BMWP-Col

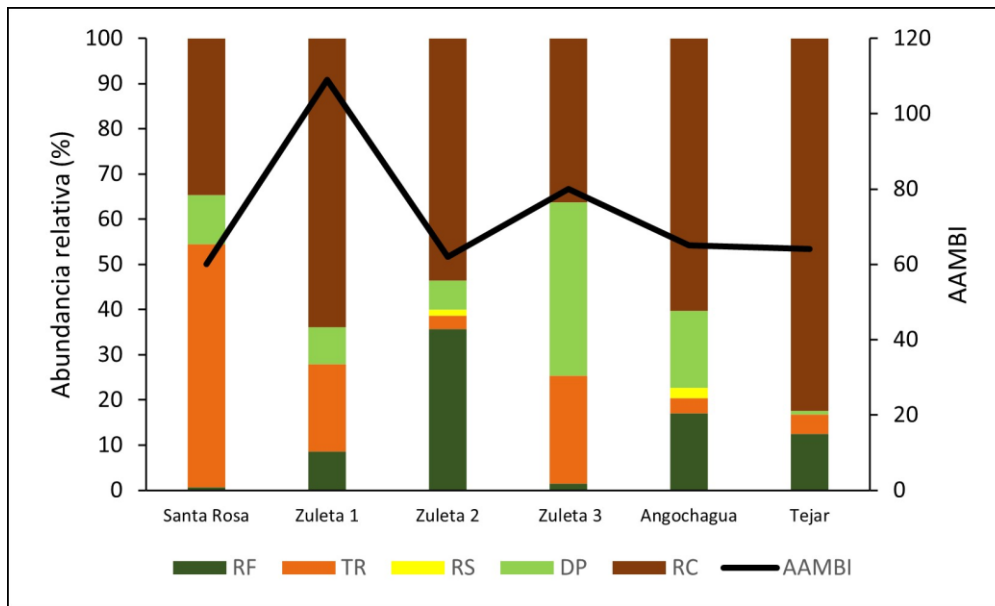


Nota. Recolector-filtrador (RF), Triturador (TR), Raspador (RS), Depredador (DP), Recolector-coleccionista (RC)

Por otro lado, la Figura 9 también nos indica la existencia de mayor diversidad de GFA en el punto 4 mismo que se relaciona con una calidad biológica buena del índice AAMBI. Además, en el punto 2 se presentó una calidad biológica muy buena y una mayor abundancia con 311 organismos de 21 taxas de los cuales se encuentran los cinco Grupos Funcionales Alimenticios (RF, TR, RS, DP y RC), esto indicó que entre mayor es la abundancia y la diversidad en GFA, mejor es la calidad de agua.

Figura 9

Composición de los grupos funcionales de alimentación por los sitios muestreados con respecto al índice AAMBI



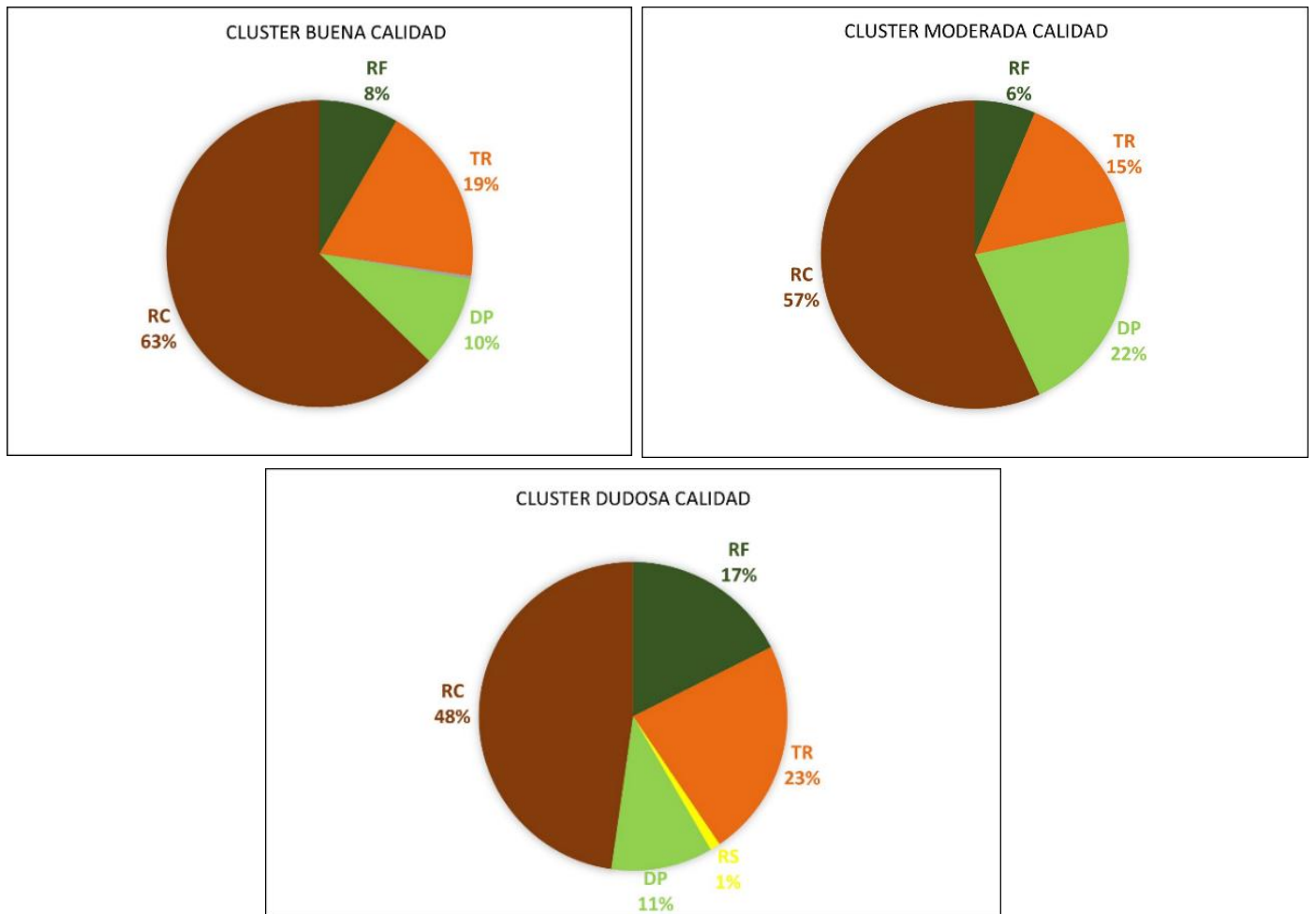
Nota. Recolector-filtrador (RF), Triturador (TR), Raspador (RS), Depredador (DP), Recolector-coleccionista (RC)

4.3.2 Calidad biológica del agua y grupos funcionales alimenticios

En la Figura 10, el análisis por agrupación (clústers) indicó que no existió una variabilidad de acuerdo con los grupos funcionales de alimentación en relación con las categorías resultantes del índice biológico BMWP-Col, es decir, que mientras el ecosistema acuático se mantenga o no disminuya a una peor calidad biológica, van a existir prácticamente toda la variedad de grupos (RC, RF, TR y DP). También se muestra que existe una dominancia de organismos que son RC, al encontrarse en hábitats no muy perturbados con respecto al índice biológico. El análisis PERMANOVA (Tabla 10) mostró que no existen diferencias significativas entre los sitios de muestreo agrupados según el índice biológico BMWP-Col con respecto a los grupos funcionales de alimentación. Esto se debe a que los puntos muestreados mantienen su estado ecológico, por lo que no existe un cambio drástico en la diversidad y distribución de la alimentación de los organismos acuáticos.

Figura 10

Abundancia relativa de grupos funcionales de alimentación agrupados con base a la clasificación de calidad biológica del agua del índice BMWP-Col



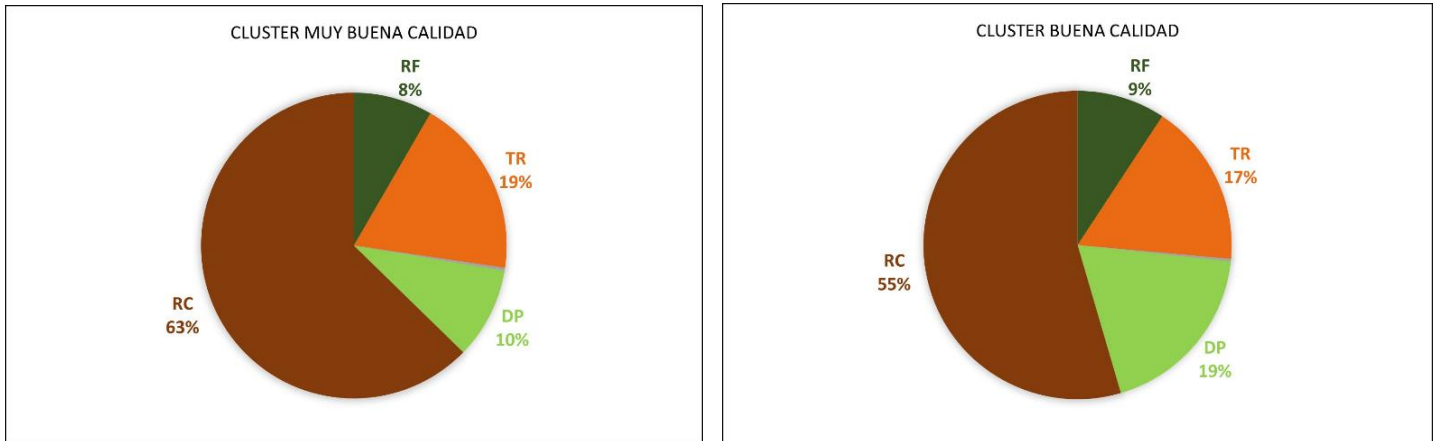
Nota. Recolector-filtrador (RF), Triturador (TR), Raspador (RS), Depredador (DP), Recolector-coleccionista (RC)

En la Figura 11 nos indica que el hábito de alimentación de los macroinvertebrados de mayor predominancia es RC con una dominancia de hasta el 63% en la calidad muy buena y 55% en la calidad buena, con respecto al índice AAMBI. Según el análisis de PERMANOVA (Tabla 10) no existe diferencias significativas entre los sitios de muestreo agrupados de acuerdo con el índice biológico AAMBI con respecto a los grupos funcionales de alimentación. Es decir, que mientras se mantenga las clases de calidad biológica del índice mencionado, perdurarán los organismos que son RC, RF, TR y DP. Sin embargo, a pesar de que el estado biológico del río se mantiene en condiciones favorables según el índice AAMBI, el GFA de Raspadores se encontró en menor porcentaje (0,60%), a pesar de que Cabrera-García et al. (2023) en su estudio realizado en el río Antisana, manifiesta que este GFA es más sensible a

las perturbaciones, es decir, que se encuentran en los lugares con mejores condiciones ecológicas.

Figura 11

Abundancia relativa de grupos funcionales de alimentación agrupados en base a la clasificación de calidad biológica del agua del índice AAMBI



Nota. Recolector-filtrador (RF), Triturador (TR), Depredador (DP), Recolector-coleccionista (RC)

(Cabrera et al., 2021) en su investigación realizada en dos ríos ecuatorianos, muestran un resultado similar, debido a que se demostró que los sitios con mejor calidad hídrica se relacionaron con la presencia de RF y TR. Además, mencionan que existe una mejor calidad ecológica en los sistemas hídricos cuando encontramos una diversidad alta de GFA, esto debido a que en los ecosistemas acuáticos se puede hallar una gran variedad y cantidad de alimento que sirve para cada uno de los organismos de macroinvertebrados.

Tabla 10

PERMANOVA (ANOVA permutacional) entre las categorías de los índices biológicos (BMWP-Col y AAMBI) para los grupos funcionales alimenticios. gl = grado de libertad; SC = suma de cuadrados; R² = media cuadrática. P < 0.05

Grupos Funcionales Alimenticios					
	gl	SC	R ²	F	p
Índice BMWP-Col					
Clases BMWP-Col	2	0.15415	0.48809	1.4302	0.2667
Residual	3	0.16168	0.51191		
Total	5	0.31583	1.00000		
Índice AAMBI					
Clases AAMBI	1	0.008741	0.02768	0.1139	1

Residual	4	0.307091	0.97232
Total	5	0.315832	1.00000

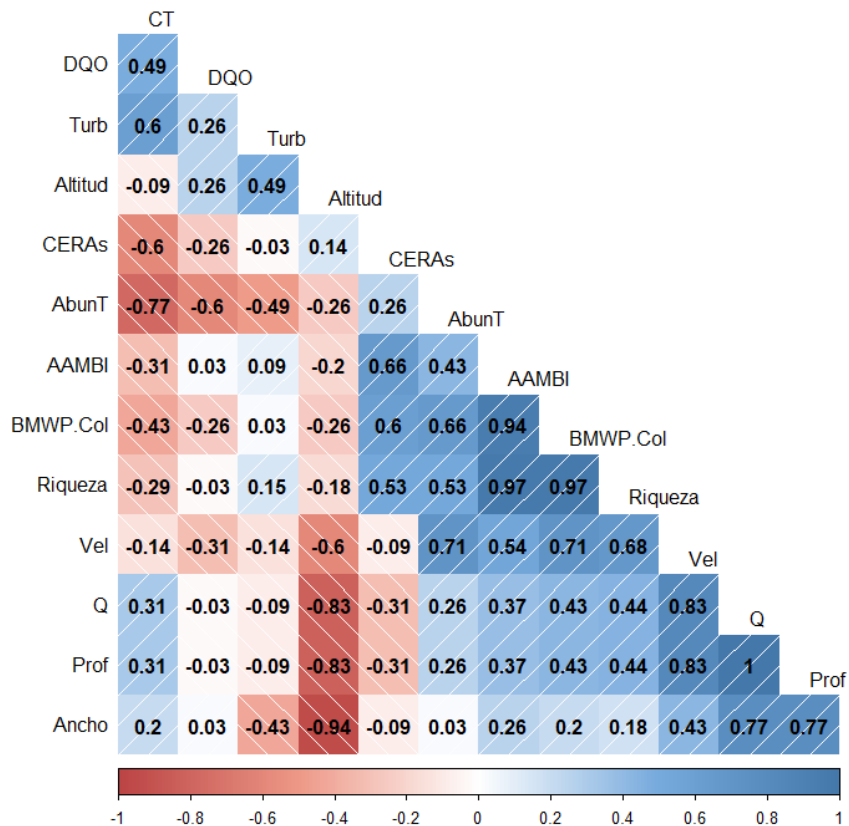
4.3.3 Comparación de índices biológicos y variables ambientales

Para llevar a cabo la correlación de variables se tomaron en cuenta los dos índices biológicos y 11 variables ambientales (VA) utilizadas en este estudio (Figura 12). Encontramos una correlación inversamente proporcional entre los coliformes totales (CT) y la abundancia total de macroinvertebrados con un valor ($r = -0,77$ y $p = 0,072$) el incremento de CT puede darse por el aumento progresivo de los vertidos de aguas residuales y domésticas de la población local afectando así, la abundancia total de las especies ya que solo podrían sobrevivir especies tolerantes a la contaminación. Sin embargo, la abundancia total presentó una correlación positiva con la velocidad del río ($r = 0,71$ y $p = 0,11$) dado que las especies prefieren un lugar que tenga mayor velocidad porque la oxigenación del agua es mejor, incrementando así la diversidad de especies. La siguiente variable ambiental a ser analizada es la altitud, presentó una asociación negativa con el caudal (Q) ($r = -0,83$ y $p = 0,041$), profundidad ($r = -0,83$ y $p = 0,041$) y ancho ($r = -0,94$ y $p = 0,004$) ya que, debido a la mayor altitud, el caudal del río no es tan abundante, por lo que su profundidad no es tan grande y el ancho es reducido.

En cuanto a la correlación entre los índices AAMBI y BMWP-Col ($r = 0,94$ y $p = 0,004$) indican una correlación positiva, ambos proporcionan información sobre la calidad del agua en el sitio, así también se obtuvo una correlación positiva con la riqueza ($r = 0,97$ y $p = 0,001$). Entre los sitios de muestreo el lugar que presentó mejores condiciones fue el sitio 2 (Zuleta 1) con una calidad de agua buena y muy buena y con una riqueza de 22 familias de macroinvertebrados, la mayoría eran especies sensibles a la contaminación. Finalmente se analizó las variables de profundidad y caudal indicando una correlación positiva con la velocidad ($r = 0,83$ y $p = 0,041$) ya que si la cantidad de agua aumenta la corriente del río también aumentará.

Figura 12

Diagrama de correlación de índices biológicos y variables ambientales



4.3.4 Evaluación de los índices biológicos y variables ambientales mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP)

Para realizar el ACP, se trabajó con dos componentes principales (Figura 13), el primer componente da un porcentaje de varianza de 37,7%, está especificado por los datos de las variables de velocidad, profundidad, ancho, caudal y turbidez mientras que el componente 2 da un porcentaje de varianza del 33,5% y esta especificado por el DQO, abundancia total y los índices biológicos BMWP-Col y AAMBI, el total de los dos primeros componentes indico un 71,2 % de la variabilidad de los datos.

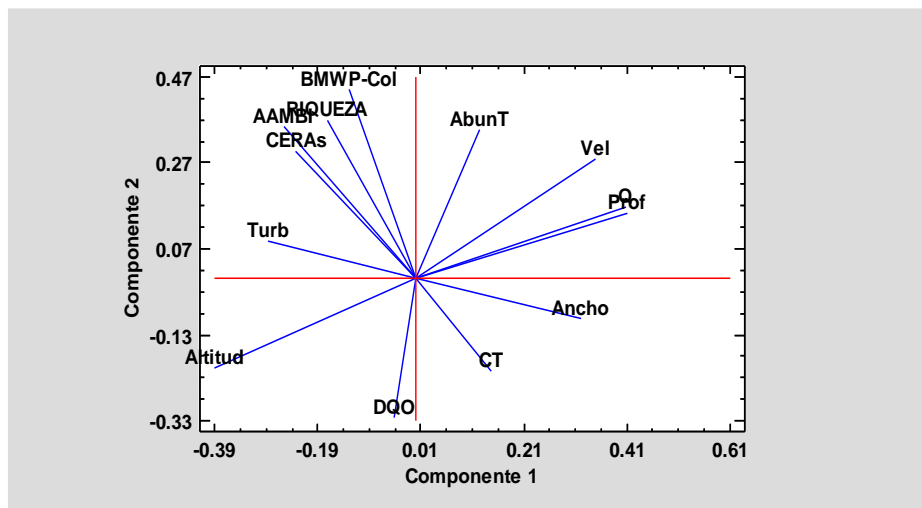
Primero observamos el componente que está más cercano a la perpendicularidad en el eje X en este caso es ancho, profundidad y caudal, el componente 1 (37,7%) se encuentra en el eje positivo, el primer eje esta explicado por los parámetros hidromorfológicos mismos que se encuentran inversamente proporcionales con la turbidez, es decir, cuando el río es caudaloso, profundo y ancho la turbidez es menor debido a que el material particulado en suspensión en

el agua no se queda estancado sino que fluye por las condiciones que posee el río. Según Castro (2015) menciona que el aumento de la turbidez en el agua puede estar atribuido por las altas precipitaciones registradas en la zona, indicando efectos nocivos directos sobre la fauna acuática, pero si el río presenta un ecosistema lotico, como se observa en varios sitios a lo largo del río Tahuando la acumulación de materia orgánica va a disminuir

Con respecto al eje Y el componente 2 (33,5%) presenta la variable DQO, se encuentra inversamente proporcional con la abundancia total de las especies, con el índice BMWP-Col y AAMBI y la riqueza, es decir, mientras peor es el DQO mejor es la abundancia total de las especies por ende la riqueza presenta mayor diversidad de familias de macroinvertebrados y por esta razón los índices biológicos BMWP-Col y AAMBI mejoran.

Figura 13

Diagrama de Análisis de Componentes Principales (ACP) de los índices biológicos y variables ambientales



4.3.5 Análisis de índices biológicos, grupos funcionales, variables ambientales y sitios de muestreo

La aplicación del Análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico NMDS (Figura 14) se compone de información de datos de variables ambientales, de grupos funcionales de alimentación (GFA) y los sitios de muestreo. La figura indica que los sitios 1 (Santa Rosa) y 4 (Zuleta 3) son muy similares, poseen una gran abundancia de especies pertenecientes al GFA de trituradores como son: Hyalellidae, Leptoceridae y Ptilodactylidae, con un valor de 6 a 10 demostrando mayor sensibilidad a la contaminación y depredadores como: Ceratopogonidae, Empididae, Glossiphoniidae, Hydrachnidae, Lampyridae, Muscidae

y Planariidae presentando valores de 1 a 5 demostrando ser más tolerantes. La calidad de agua del sitio 1 fue dudosamente contaminada mientras que del sitio 4 fue moderadamente contaminada, estos sitios de estudio se encuentran relacionados con las variables ambientales de altitud, DQO y turbidez.

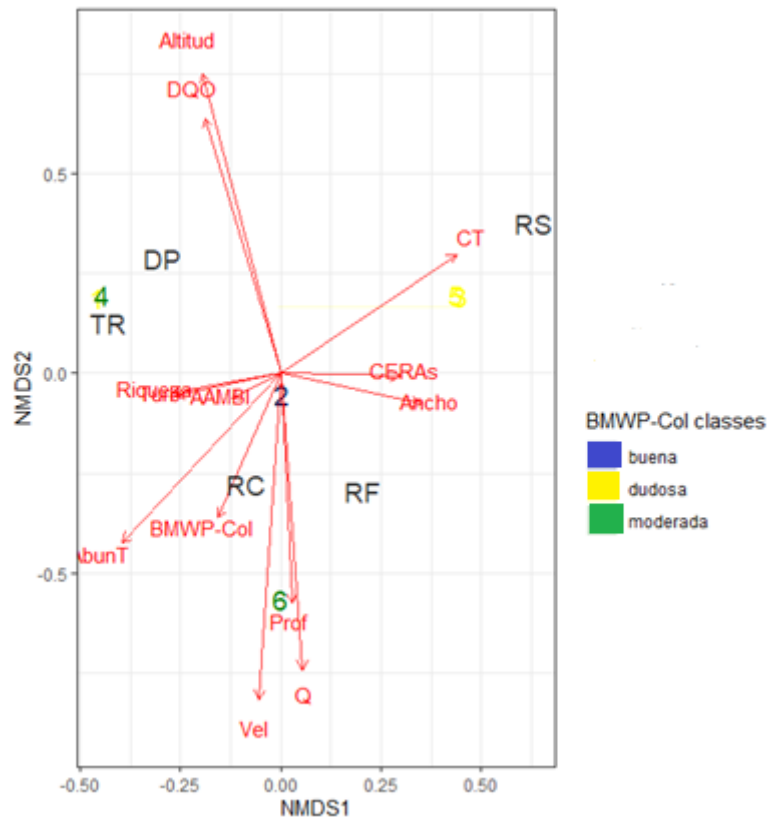
El sitio 3 (Zuleta 2) y 5 (Angochagua) tuvieron relación con la presencia del GFA de raspadores como: Physidae y Chironomidae con altos rangos de tolerancia, presentando una calidad de agua dudosamente contaminada, estos puntos se encuentran relacionados con la variable ambiental de coliformes totales (CT). Comparando el estudio realizado en el río Frío en Cundinamarca por Duarte (2017) menciona que la presencia de la familia Chironomidae es abundante en sitios con alta materia orgánica por sus hábitos alimenticios concordando así con los datos del sitio 3 (Zuleta 2) y 5 (Angochagua) del río Tahuando.

El sitio 2 (Zuleta 1) se encuentra relacionado con las variables ambientales de riqueza, AAMBI, BMWP-Col, abundancia total, CERAs y turbidez por ello indica una calidad de agua buena y los GFA presentes en este sitio son los recolectores (RC), las familias más abundantes del grupo son: Leptophlebiidae, Psychodidae y Scirtidae y recolectores filtradores (RF) como: Oligoneuriidae y Simuliidae. Comparando con el estudio de (Cabrera et al., 2021) también se encontró que la presencia de macroinvertebrados Recolectores (RC) y Recolectores filtradores (RF) estuvieron relacionados con los sitios con mejores condiciones ecológicas. En el estudio realizado por Duarte (2017) menciona que la presencia de la familia Simuliidae se encuentra en ambientes oxigenados y con bajo contenido de materia orgánica coincidiendo así las condiciones ambientales del sitio 2 (Zuleta 1).

Finalmente, el sitio 6 (Tejar) presenta una calidad de agua moderadamente contaminada, los GFA presentes en este sitio son los recolectores y la familia más abundante fue Baetidae, las variables que se encuentran relacionadas con este punto son velocidad, caudal (Q), profundidad ya que este punto era el más caudaloso. Según Duarte (2017) en el estudio del río Frío en Cundinamarca menciona que la familia Baetidae se encuentra en áreas con sustrato rocoso y con zonas rápidas, son organismos recolectores y sensibles a las condiciones físicas del río, confirmando así la presencia de esta especie en el sitio 6.

Figura 14

Diagrama de Análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) de los grupos funcionales de alimentación y los sitios de muestreo



Nota. Recolector-filtrador (RF), Triturador (TR), Raspador (RS), Depredador (DP), Recolector-coleccionista (RC).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para esta investigación se determinaron 6 puntos de muestreo a lo largo de la superficie del río, los mismo que se encuentran entre una elevación de 2 313 a 3 154 msnm. De acuerdo con la calidad hidromorfológica el punto 2 tuvo una valoración de buena ya que no se encontraron grandes alteraciones en su ecosistema. Por otro lado, los puntos 3, 4, 5 y 6 obtuvieron una calificación de moderada y el punto 1 obtuvo una valoración de mala, debiéndose a que existen una gran cantidad de actividades antrópicas (agricultura, ganadería, turismo y pastoreo), perturbando así grandes extensiones de recursos naturales que nos provee el medioambiente.

Se analizaron un total de 1 877 macroinvertebrados, pertenecientes a 29 familias, el sitio que presentó una mejor calidad hidromorfológica fue Zuleta 1 presentando un puntaje de 31 puntos considerados como una calidad buena, mientras que el resto de puntos fueron considerados con una calidad moderadamente contaminada, con respecto al análisis de los índices biológicos BMWP-Col y AAMBI, Zuleta 1 también fue considerado el mejor punto con una calidad biológica buena y muy buena, el resto de puntos se encontraron con una calidad biológica entre buena y dudosamente contaminada con la presencia de grupos sensibles como Hyalellidae y Baetidae y tolerantes a la contaminación como los Chironomidae, Ceratopogonidae y Tipulidae que se encuentran en todos los sitios de muestreo.

Se identificaron los grupos funcionales alimenticios de 1 767 macroinvertebrados acuáticos, siendo Recolectores-colectores los más dominantes en los sitios de muestreo. El sitio que presentó una mejor calidad ecológica fue el sitio 2 (Zuleta 1) ya que al analizar los datos de la calidad hidromorfológica y biológica dio como resultado una calidad excelente debido a que las perturbaciones antrópicas no eran tan significativas, por lo tanto, no afectó ni modificó el cauce natural del río y en general para el resto de los sitios las condiciones ecológicas fueron moderadas.

5.2 Recomendaciones

Ampliar las variables ambientales muestreadas a parámetros como DBO, OD, SDT, conductividad, pH, temperatura, entre otros. Para comprobar su incidencia en la abundancia y distribución de Macroinvertebrados acuáticos.

Extender los puntos de muestreo a lo largo de la cuenca del río Tahuando específicamente en la parte baja (difícil acceso), con el fin de determinar el cambio espacial de la calidad y funcionalidad ecológica en este ecosistema.

Desarrollar un estudio con otros rasgos funcionales de macroinvertebrados acuáticos como por ejemplo respiración, locomoción, entre otros., con el fin de ampliar el conocimiento de la funcionalidad ecológica de este ecosistema acuático.

Realizar biomonitoreos de forma periódica tanto de variables ambientales (físicoquímicas e hidromorfológicas) como de la biota acuática para contar con información suficiente en la toma de decisiones sobre la restauración, manejo y protección eficiente del río Tahuando.

REFERENCIAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA) y su Aplicación a Dos Cuencas en Ecuador y Perú. *Revista Ail*, 28(1), 35–54.
- Álvarez, L. (2005). *Metodología para la Utilización de los Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores de la Calidad del Agua* (Vol. 1).
- Barinas, M. (2008). *Caracterización de las Comunidades de Macroinvertebrados Acuáticos de la Microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Honduras*. Universidad Zamorano.
- Barrenechea, A. (2005). *Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Betancourt, A., & Antonio, L. (n.d.). *UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA ÁREA BIOLÓGICA*.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>
- Cabrera, S., Eurie Forio, M. A., Lock, K., Vandenbroucke, M., Oña, T., Gualoto, M., Goethals, P. L. M., & Der Heyden, C. Van. (2021). Variations in Benthic Macroinvertebrate Communities and Biological Quality in the Aguarico and Coca River Basins in the Ecuadorian Amazon. *Water (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/w13121692>
- Cabrera-García, S., Goethals, P. L. M., Lock, K., Domínguez-Granda, L., Villacís, M., Galárraga-Sánchez, R., Van der heyden, C., & Eurie Forio, M. A. (2023). Taxonomic and Feeding Trait-Based Analysis of Macroinvertebrates in the Antisana River Basin (Ecuadorian Andean Region). *Biology*, 12(11), 1386. <https://doi.org/10.3390/biology12111386>
- Castro J. (2015). *Correspondencia entre Indicadores Físico-químicos y Biológicos para el Monitoreo Sistemático de la Contaminación en el Río Tahuando* [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7680>
- Crespo-Pérez, V., Dangles, O., Ibarra, C., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D., & Cauvy-Fraunié, S. (2020). Functional Structure and Diversity of Invertebrate Communities in a Glacierised Catchment of the Tropical Andes. *Freshwater Biology*, 65(8), 1348–1362. <https://doi.org/10.1111/fwb.13504>
- Cuasapud N. (2017). *Manejo y protección de fuentes de agua para consumo humano*. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6487/1/PG%20491%20TESIS.pdf>

- Cumbrera, A., & Rodríguez, V. (2018). Estructura Trófica a Nivel de Grupos Funcionales de Alimentación de la Comunidad de Insectos Acuáticos y Calidad Biológica del Agua en la Parte Media-baja del Río Cardenillo, Veraguas. *Periodicidad: Semestral*, 2(1). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/225/2251007003/index.html>
- Damanik-Ambarita, M. N., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Nguyen, T. H. T., Forio, M. A. E., Musonge, P. L. S., Suhareva, N., Bennetsen, E., Landuyt, D., Dominguez-Granda, L., & Goethals, P. L. M. (2016). Ecological Water Quality Analysis of the Guayas River Basin (Ecuador) Based on Macroinvertebrates Indices. *Limnologica*, 57, 27–59. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.01.001>
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos: Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo. https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_benticos_Sudamericanos_Sistematica_y_Biologia
- Donoso, E. (2012). *Análisis del Sistema Ambiental según la Metodología de SENPLADES, como Aporte a la Planificación y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra* [Tesis de ingeniería]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Duarte, J. (2017). *Macroinvertebrados Bentónicos y su Relación con la Calidad del Agua en la Cuenca Alta de del Río Frío (Tabio, Cundinamarca)* [Tesis de ecólogo, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/34419>
- Encalada, A., Guayasamin, J., Suárez, E., Mena, C., Lessmann, J., Sampedro, C., Martínez, P., Ochoa-Herrera, V., Swing, K., Maja, C., José, S., Jose, V., Tapia, A., Serrano, C., Barragán, K., Andrade, S., Alex, A., & Troya, M. (2019). *Los Ríos de las Cuencas Andino-Amazónicas*.
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo Simplificado de Guía de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERAS-S)*.
- Eriksen, T. E., Brittain, J. E., Sjøli, G., Jacobsen, D., Goethals, P., & Friberg, N. (2021). A Global Perspective on the Application of Riverine Macroinvertebrates as Biological Indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia. *Ecological Indicators*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107609>
- Ferrú, M., & Fierro, P. (2015). *Estructura de macroinvertebrados acuáticos y grupos funcionales tróficos en la cuenca del río Lluta, Chile* (Vol. 33). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292015000400007
- Gamarra, Y., Restrepo, R., Cerón, A., Villamizar, M., Arenas, R., Vega, C. I., & Ávila, A. A. (2017). Aplicación del Protocolo CERA-S para Determinar la Calidad Ecológica de la Microcuenca

- Mamarramos (Cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(2), 11–30. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a02>
- Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de Salud Ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109–120. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gonzales, N., Sánchez, S., & Mairena, Á. (2014). Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de Calidad de Agua del Trópico Húmedo en las Microcuencas de los Alrededores de Bluefields, RAAS. *Wani*, 68, 53–63.
- Gutiérrez-Garaviz, J., Zamora, H., & Andrade-Sossa, C. (2014). Efecto de la Actividad Antrópica sobre la Composición de Macroinvertebrados Acuáticos. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 4(2), 23–113. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18636/bioneotropical.v4i2.137>
- Hanson P. (2010). *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Jacobsen, D. (2003). Altitudinal Changes in Diversity of Macroinvertebrates from Small Streams in the Ecuadorian Andes. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 158(2), 145–167. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2003/0158-0145>
- Koklu, R., Sengorur, B., & Topal, B. (2010). Water Quality Assessment Using Multivariate Statistical Methods-A case Study: Melen River System (Turkey). *Water Resources Management*, 24(5), 959–978. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9481-7>
- Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores Biológicos: Una Herramienta Didáctica. *Ikastorratza E-Revista de Didáctica*, 11, 1–19. https://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf
- Machado, V., Granda, R., & Endara, A. (2018). Análisis de Macroinvertebrados Bentónicos e Índices Biológicos para Evaluar la Calidad del Agua del Río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano. *Revista SciELO*, 9(4), 154–167. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.369>
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M., & Jaramillo-Londoño, A. (2019). Comparison of Water Quality Between Two Andean Rivers by Using the BMWP/COL and ABI Indices. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299–310. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70716>
- Mesquita-Joanes, F., Smith, A. J., & Viehberg, F. A. (2012). The Ecology of Ostracoda Across Levels of Biological Organisation from Individual to Ecosystem. A Review of Recent

- Developments and Future Potential. *Developments in Quaternary Science*, 17, 15–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53636-5.00002-0>
- Moreno, D., Zambrano, D., Prieto, E., Quinayás, F., Forero, G., Gutiérrez, J., Zambrano, J., Mora, L., & Coronado, M. (2017). *Perturbaciones Antrópicas y Calidad Biológica del Agua del Río Sanguyacu* [Instituto Tecnológico del Putumayo]. <https://itp.edu.co/ITP2022/wp-content/uploads/2018/08/Perturbaciones-antrópicas-y-calidad-biológica-del-agua-del-río-Sangoyaco-municipio-de-Mocoa.pdf>
- Nessimian, J., Marques, L., Sansaverino, A., & Baptista, D. (1998). Relation Between Flood Pulse and Functional Composition of the Macroinvertebrate Benthic Fauna in the Lower Rio Negro, Amazonas, Brazil. *Amazoniana*, 15(1), 35–50. <https://www.researchgate.net/publication/266385110>
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I., & Villacrés, H. (1983). *Clima del Ecuador*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf
- Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional Feeding Groups of Aquatic Insect Families in Latin America: A Critical Analysis and Review of Existing Literature. *Revista de Biología Tropical*, 62, 155–167. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785>
- Ríos, T., Guinard, J., & Bernal, J. (2013). Diversidad y Abundancia de Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad del Agua del Río Gariche. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(2), 61–70. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169428420005>
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col* (Vols. 958-655-671–9).
- Romero, I., & Zúñiga, T. (2017). *Evaluación de la Calidad Ecológica del Río Ushimana Utilizando Comunidades de Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Agua*. [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18959>
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(2), 220–222. <http://www.jstor.org/stable/1467358>
- Rosero, M. (2017). *Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de*

- Imbabura* [Tesis de magíster, Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>
- Sabater, A. (2009). *Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial* (Rubes Editorial).
https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE_2009_conceptos_ecologia_fluvial.pdf
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico* (L. López, Ed.; 1st ed.).
https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico
- Soria, I. (2016). *Evaluación de la Calidad Ecológica del Río Jatunhuayco en la Zona Asociada a la Captación Jatunhuayco (EPMAPS) Utilizando Comunidades de Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Agua* [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16736>
- Springer, M. (2010). Biomonitorio Acuático. *Revista Biol. Trop.*, 58(4), 53–59.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/20082/20284>
- Tomanova, S., Moya, N., & Oberdorff, T. (2008). Using Macroinvertebrate Biological Traits for Assessing Biotic Integrity of Neotropical Streams. *River Research and Applications*, 24(9), 1230–1239. <https://doi.org/10.1002/rra.1148>
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización Física, Química e Hidromorfológica de los Ríos Altoandinos Tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>
- Wehrtmann, I., Hernández-Díaz, D., & Cumberlidge, N. (2019). Freshwater Crabs as Predators and Prey: The Case of *Ptychophallus uncinatus* Campos and Lemaitre, 1999 (Brachyura, Pseudothelphusidae) from Costa Rica, Central America. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(1), 18–26. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue1-fulltext-3>
- Yáñez, M. (2019). *Balance Hídrico de la Microcuenca del río Tahuando, Parroquia Angochagua-Ibarra* [Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas].
<https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/21130>

ANEXOS

Tabla A1

Protocolo CERAs de la calidad hidromorfológica

INCISO	CARACTERÍSTICAS	CRITERIO	PUNTUACIÓN	RÍO
A.1	Vegetación de ribera de páramo	Páramo herbáceo	5	
		Páramo mixto	5	
		Páramo de frailejones	5	
		Páramo deradado (Hierbas cortas y pisadas)	2	
		Tierra baldía o cangahua	0	
Total máximo por apartado				
A.2	Vegetación de ribera de bosque	Bosque de polylepis	5	
		Bosque mixto	5	
		Plantación eucaliptos y pinos	3	
		Matorral arbustos	3	
		Cultivos	1	
		Pastos	1	
		Tierra baldía o cangahua	0	
Total máximo por apartado				
B.	Continuidad de la ribera	Continuo	5	
		Manchas grandes	3	
		Manchas aisladas	1	
Total máximo por apartado				
C.	Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacentes	Vegetación natural (páramo o bosque)	5	
		Cultivos y pastos	3	
		Infraestructuras-Elementos de urbanismo (viviendas, carreteras paralelas al río)	2	
Total máximo por apartado				
D.	Presencia de basuras y escombros	Ribera sin basura ni escombros	5	
		Ribera con basuras y/o escombros escasos	2	
		Ribera con basuras y/o escombros abundantes	0	

		Total máximo por apartado		
E.	Naturalidad del canal fluvial	Canal natural	5	
		Canal modificado por terrazas sin cemento	3	
		Canal con estructuras rígidas parciales	1	
		Canal totalmente modificado por estructuras rígidas	0	
		Total máximo por apartado		
F.	Composición del sustrato	Piedras	Por cada elemento presente se suma 1	
		Canto		
		Arena+arcilla		
		Grava		
		Bloque		
		Total máximo por apartado		
G.	Regímenes de velocidad y profundidad del río	Rápido- somero	Si está presente se suma 1. Si está ausente 0. Si están las 4 opciones se sumará 1 punto extra	
		Rápido- profundo		
		Lento- somero		
		Lento- profundo		
		Total máximo por apartado		
H.	Elementos de heterogeneidad	Hojarasca	La presencia de cada uno suma 1 punto	
		Troncos y ramas		
		Diques naturales		
		Raíces sumergidas		
		Vegetación acuática sumergida (musgos y plantas)		
		Vegetación acuática sumergida (algas)		
		Total máximo por apartado		
SUMA TOTAL				

Tabla A2*Evaluación de las características hidromorfológica*

Valor	Estado de la variable
0	Pésimo
1	Malo
2	Regular
3	Moderado
4	Muy bueno
5	Excelente

Tabla A3*Evaluación de la calidad de agua a partir del Índice Biótico BMWP-Col*

Clase	Calidad	BMWP-Col	Definición
I	Buena	>150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	≥15	Aguas fuertemente contaminadas.

Tabla A4*Puntajes de la familia de macroinvertebrados según el índice BMWP-Col*

FAMILIAS	VALOR
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Calamoceratiade, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Oligoneuridae, Odontoceridae, Perlidae, Ptilodactylidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Vellidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae, Notonectidae.	5

Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubicidae	1

Tabla A5

Puntajes de la familia de macroinvertebrados según el índice AAMBI

CLASE	FAMILIAS	VALOR
	Oligoneuriidae, Leptophlebiidae, Polythoridae, Perlidae, Gripopterygidae, Atriplectididae, Odontoceridae, Calamoceratidae, Anomalopsychidae, Helicopsychidae, Blephariceridae, Athericidae.	10
	Corydalidae, Euthyplociidae.	9
	Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Philopotamidae, Xiphocentronidae, Polycentropididae, Hydrobiosidae, Polymitarcyidae, Gomphidae, Calopterygidae, Pleidae, Leptoceridae.	8
	Glossosomatidae, Leptohiphidae, Limnephilidae.	7
	Hyalellidae, Atyidae, Trichodactylidae, Hydroptilidae, Ephemeridae, Aeshnidae, Libellulidae, Megapodagrionidae, Coenagrionidae.	6
Turbellaria	Nepidae, Gelastocoridae, Scirtidae, Ptilodactylidae, Psephenidae, Elmidae, Lampyridae, Hydropsychidae, Gerridae, Veliidae, Mesoveliidae, Corixidae, Notonectidae, Naucoridae, Simuliidae, Tipulidae.	5
Chromadorea, Arachnida	Ampullariidae, Ancyliidae, Unionidae, Belostomatidae, Noteridae, Baetidae, Blaberidae, Hydrometridae, Crambidae, Limoniidae, Ceratopogonidae, Dixidae, Tabanidae, Dolichopodidae, Empididae, Stratiomyidae.	4

Hirudinea, Ostracoda	Physidae, Lymnaeidae, Planorbidae, Cochliopidae, Sphaeriidae, Gyrinidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Staphylinidae, Caenidae, Psychodidae.	3
Oligochaeta	Chironomidae, Culicidae, Muscidae.	2
Gordioidea	Syrphidae.	1

Tabla A6

Evaluación de la calidad de agua a partir del puntaje del Índice Biótico Andino- Amazónico (AAMBI)

AAMBI	Integridad Ecológica
>121	Excelente
90-120	Muy buena
50-89	Buena
36-49	Regular
<35	Mala

Tabla A7

Asignación consensuada de rasgos alimenticios según la información disponible. Referencias (a) Crespo-Pérez et al., (2020), (b) Damanik-Ambarita et al., (2016), (c) Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, (2014), (d) Tomanova et al., (2008), (e) Nessimian et al., (1998), (f) Vargas (2018) y (g) Ouattara et al., (2022)

Orden	Familia	Parasito (PA)	Recolector-Filtrador (RF)	Triturador (TR)	Raspador (RS)	Depredador (DP)	Recolector-colector (RC)	Perforador (PF)
Coleoptera	Elmidae			d	b		a,c,d	
Ephemeroptera	Baetidae				b		a,c,d	
Diptera	Ceratopogonidae					a,c,d	b	
Diptera	Chironomidae		c				a,b,c,d	
Diptera	Empididae					a,c,d	b	
Hirudinea	Glossiphoniidae					b		
Amphipoda	Hyalellidae			a,b				
Arachnida	Hydrachnidae					a,g		d
Coleoptera	Hydraenidae				c,h	c	c	
Trichoptera	Hydropsychidae		b,c,d					
Coleoptera	Lampyridae					b,c		
Trichoptera	Leptoceridae		c	a,b,c,d	c	c	c	
Ephemeroptera	Leptophlebiidae				c,d		b,c, d	
Diptera	Limoniidae			a			b,e	
Olygochaeta	Lumbricidae						a,b,d	
Diptera	Muscidae					a,c	b	
Ephemeroptera	Oligoneuriidae		b,c					
Gastropoda	Physidae				b			
Turbellaria	Planariidae					a		
Diptera	Psychodidae				c		c,d	
Coleoptera	Ptilodactylidae			c				
Coleoptera	Scirtidae			a,c	c		a,b,c	
Diptera	Simuliidae		a,b,d		c	c	c	
Coleoptera	Staphylinidae						a	
Diptera	Stratiomyidae			d			b,f	
Diptera	Tipulidae			c		d	c,d	

Figura A1

Mapa de ubicación de la cuenca del río Tahuando

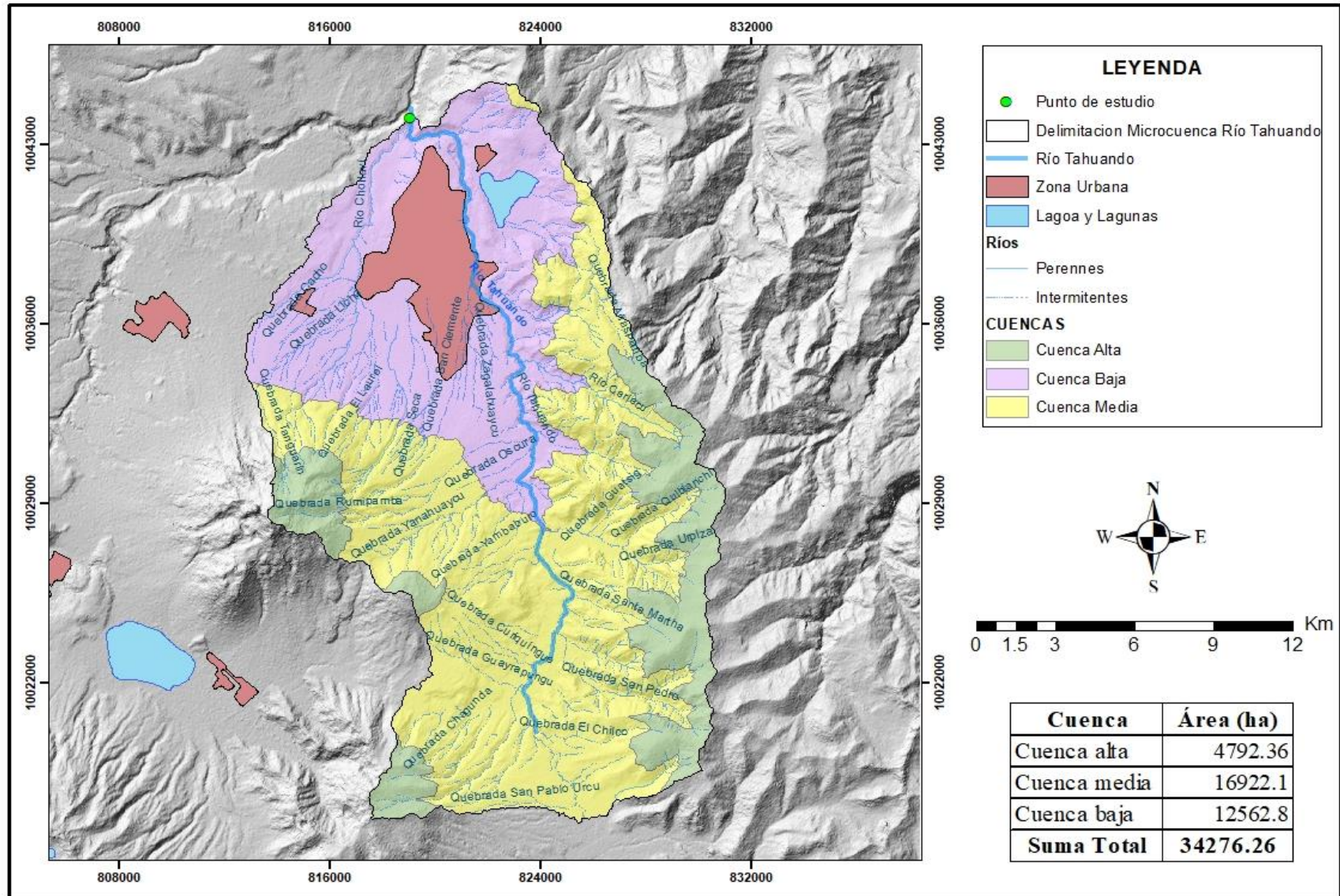


Figura A2

Mapa delimitación de la cuenca alta, media y baja de la cuenca del río Tahuando

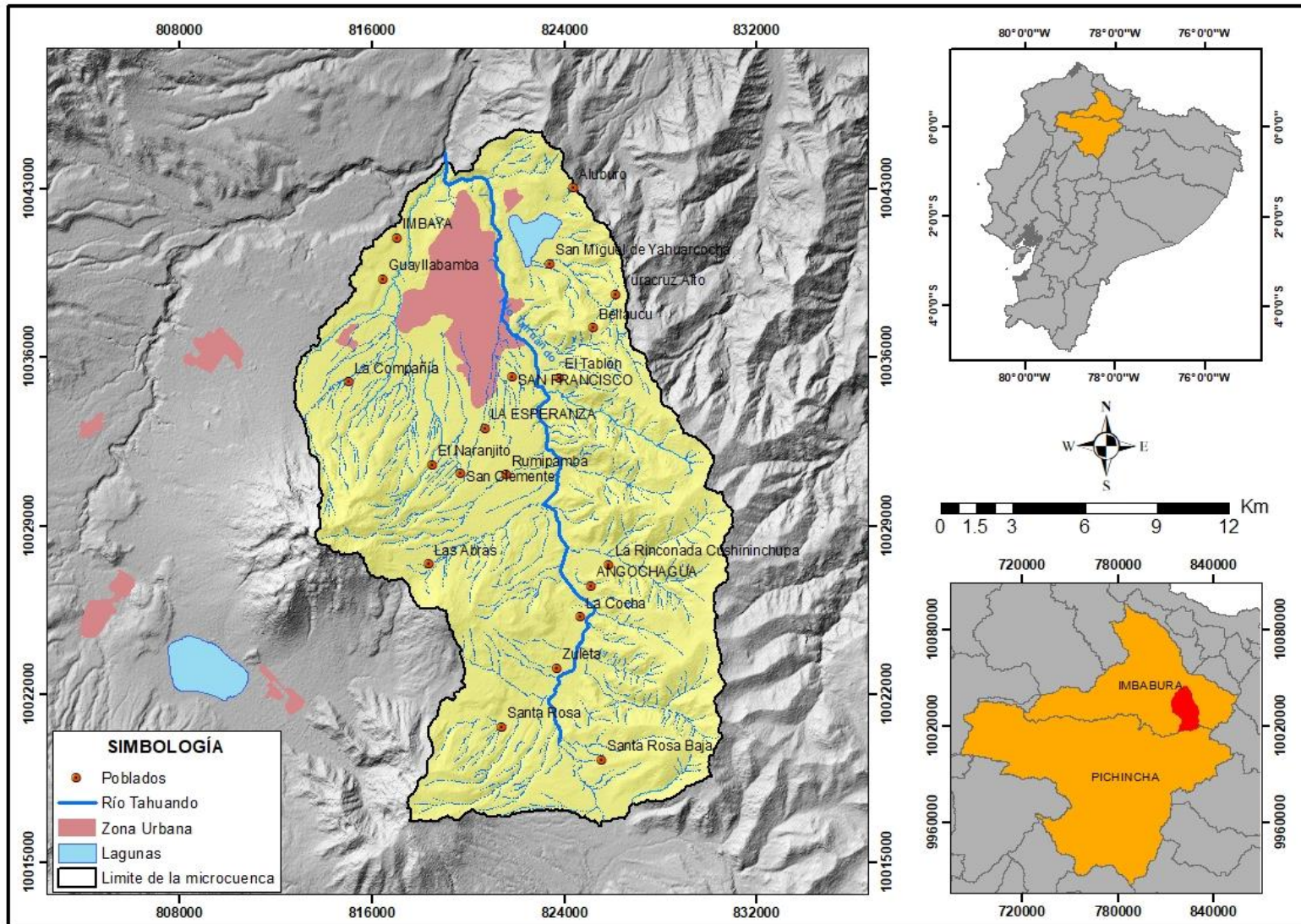


Figura A3

Mapa de temperatura y precipitación de la microcuenca del río Tahuando

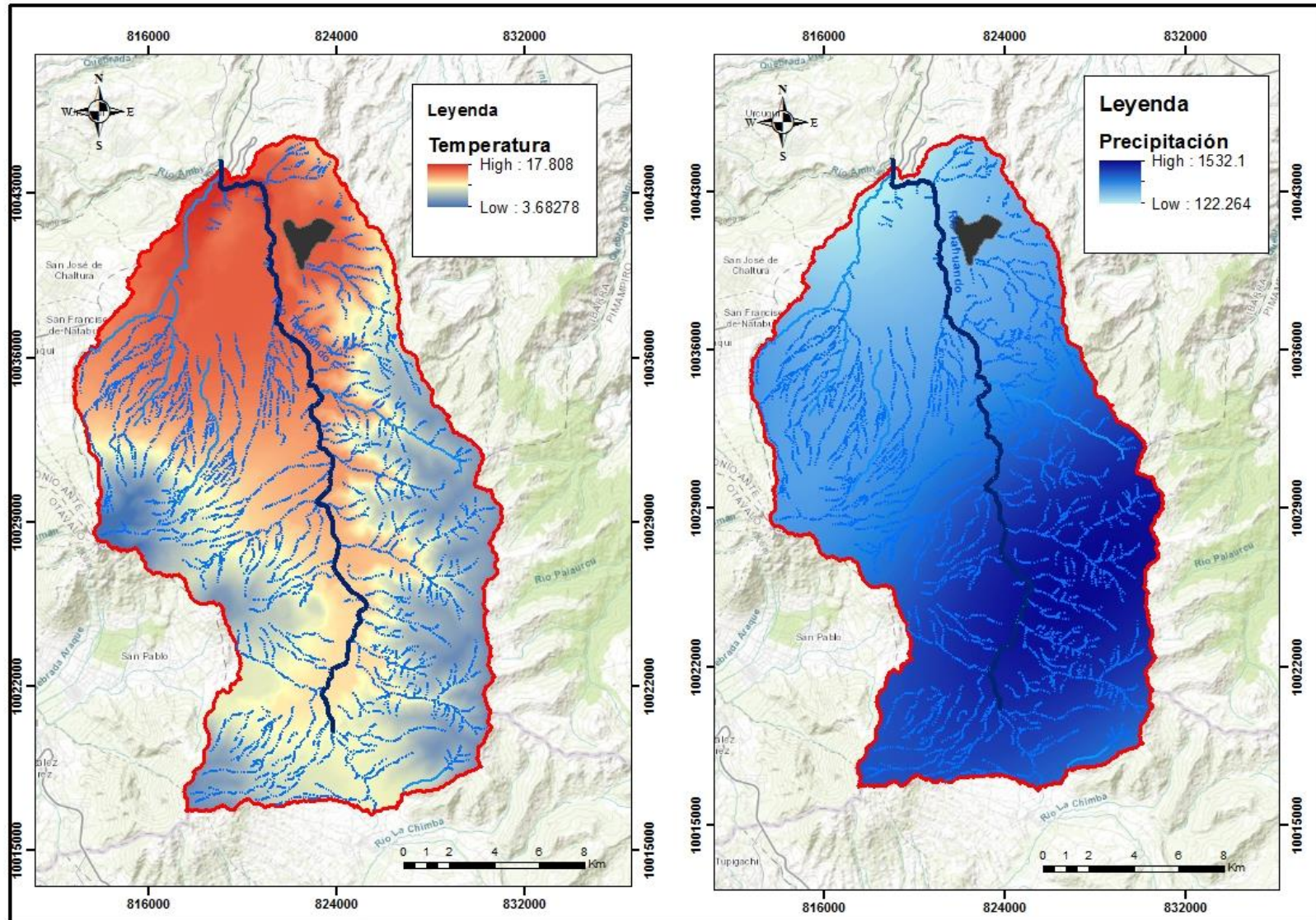


Figura A4

Mapa de balance hídrico de la microcuenca del río Tahuando

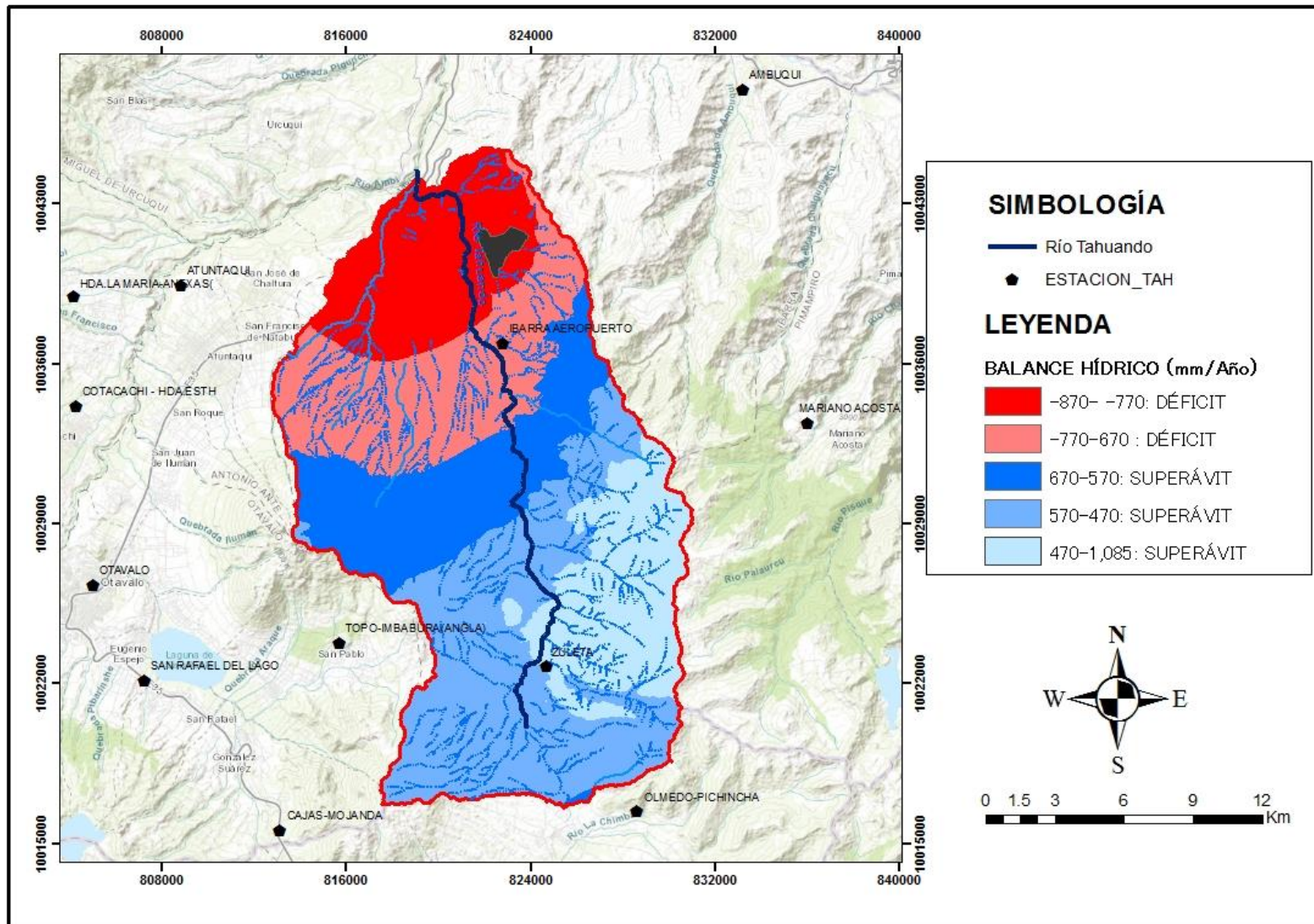


Figura A5

Mapa de uso y cobertura de suelo de la cuenca del río Tahuando

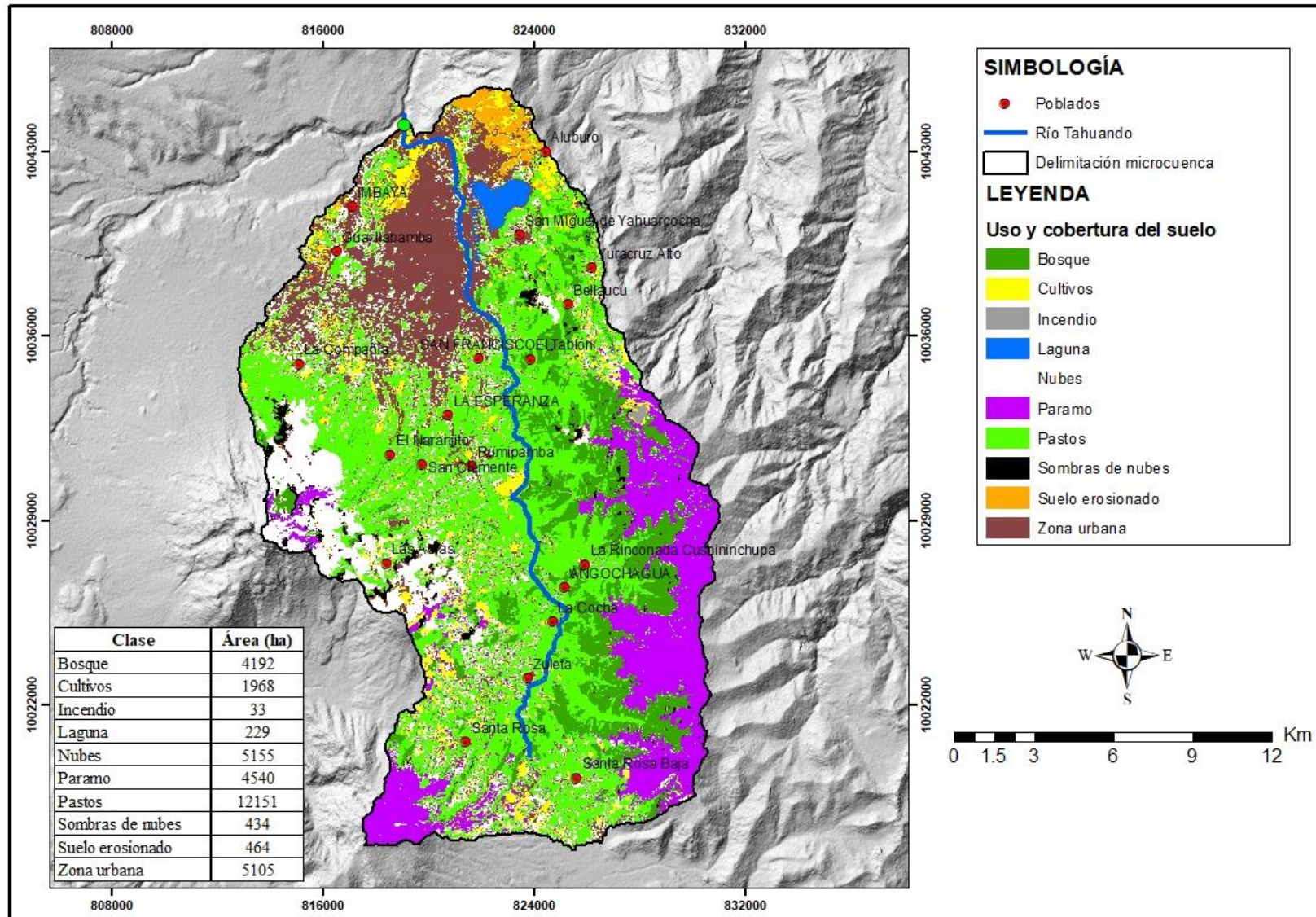


Figura A6

Mapa de los puntos de muestreo de la cuenca del río Tahuando

