



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA
DEL RÍO TUNA, TRAMO DE LA COMUNIDAD MARÍA
AUXILIADORA, MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE MACRO
INVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES EN
EL CANTÓN HUAMBOYA PROVINCIA DE MORONA
SANTIAGO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

WILSON FERNEY CHANCUSIG MARCILLO

Macas – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA
DEL RÍO TUNA, TRAMO DE LA COMUNIDAD MARÍA
AUXILIADORA, MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE MACRO
INVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES EN
EL CANTÓN HUAMBOYA PROVINCIA DE MORONA
SANTIAGO

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: WILSON FERNEY CHANCUSIG MARCILLO

DIRECTOR: Ing. MIGUEL ÁNGEL OSORIO RIVERA Mgs.

Macas – Ecuador

2022

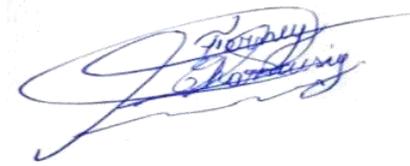
© 2022, **Wilson Ferney Chancusig Marcillo**

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

Yo, WILSON FERNEY CHANCUSIG MARCILLO, declaro que el presente trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 18 de febrero de 2022

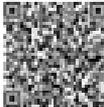
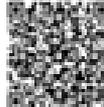


Wilson Ferney Chancusig Marcillo

230005528-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular ; tipo: Proyecto Técnico **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TUNA, TRAMO DE LA COMUNIDAD MARÍA AUXILIADORA, MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE MACRO INVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES EN EL CANTÓN HUAMBOYA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO**, realizado por el señor: **WILSON FERNEY CHANCUSIG MARCILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|---|--------------|
| Ing. William Estuardo Carrillo Barahona Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  <small>Firmado digitalmente por:</small> WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA | 2022-02-18 |
| Ing. Miguel Ángel Osorio Rivera Mgs. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  <small>Firmado digitalmente por:</small> MIGUEL ANGEL OSORIO RIVERA | 2022-02-18 |
| Ing. Christian Orlando Camacho López MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  <small>Firmado digitalmente por:</small> CHRISTIAN ORLANDO CAMACHO LOPEZ | 2022-02-18 |

DEDICATORIA

A Dios, por darme la sabiduría para seguir aprendiendo cada día y por darme la vida, a mi madre por confiar en mí y darme su apoyo incondicional, amor y cariño, a mis hermanos quienes fueron el motor para seguir adelante, a mi familia por compartir grandes momentos.

Ferney

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Cecilia por apoyarme siempre en cada una de mis metas. A mis hermanos Kevin, Derian, Jeremías y Valentina por brindarme su cariño. A mi familia por apoyarme en momentos difíciles. Al Ing. Orlando Bravo por su humildad y su apoyo. A mi tutor Mgs. Miguel Osorio por brindarme sus conocimientos y permitirme culminar la elaboración de la tesis. Al Mgs Christian Camacho por su paciencia, carisma y su apoyo motivacional para cumplir con nuestra meta final.

Ferney

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiv |
| RESUMEN | xv |
| ABSTRACT | xvi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|---|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1. Objetivos..... | 4 |
| 1.1.1. <i>Objetivo General</i> | 4 |
| 1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 4 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---|----|
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 6 |
| 2.2.1. <i>Contaminación del agua</i> | 6 |
| 2.2.2. <i>Tipos de contaminación</i> | 6 |
| 2.2.2.1. <i>Contaminación difusa</i> | 6 |
| 2.2.2.2. <i>Contaminación puntual</i> | 7 |
| 2.2.3. <i>Índice de calidad del agua</i> | 7 |
| 2.2.3.1. <i>Método de valoración WQI</i> | 7 |
| 2.2.4. <i>Índice de Hábitat Fluvial (IHF)</i> | 7 |
| 2.2.4.1. <i>Aspectos a evaluar en el Índice de Hábitat Fluvial</i> | 8 |
| 2.2.5. <i>Índice Biológico de Monitoreo de la Calidad del Agua (IBMQA) para Colombia (BMWP/Col)</i> | 8 |
| 2.2.5.1. <i>Método BMWP/Col</i> | 9 |
| 2.2.6. <i>Parámetros físico químico</i> | 9 |
| 2.2.6.1. <i>Potencial de Hidrógeno</i> | 9 |
| 2.2.6.2. <i>Turbidez</i> | 9 |
| 2.2.6.3. <i>Conductividad</i> | 10 |
| 2.2.6.4. <i>Nitratos</i> | 10 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.2.6.5. | <i>Fosfatos</i> | 10 |
| 2.2.6.6. | <i>Coliformes fecales</i> | 11 |
| 2.2.6.7. | <i>Sólidos totales</i> | 11 |
| 2.2.6.8. | <i>Sólidos filtrables</i> | 11 |
| 2.2.6.9. | <i>Sólidos en suspensión</i> | 12 |
| 2.2.6.10. | <i>Demanda Biológica de Oxígeno</i> | 12 |
| 2.2.6.11. | <i>Oxígeno Disuelto</i> | 12 |
| 2.2.6.12. | <i>Temperatura</i> | 12 |
| 2.2.7. | <i>Macroinvertebrados acuáticos</i> | 12 |
| 2.2.7.1. | <i>Macroinvertebrados como indicadores</i> | 13 |
| 2.2.7.2. | <i>Hábitats de macroinvertebrados</i> | 13 |
| 2.2.7.3. | <i>Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos</i> | 14 |
| 2.2.8. | <i>Alimentación de los macroinvertebrados</i> | 15 |
| 2.2.8.1. | <i>Carnívoros</i> | 15 |
| 2.2.8.2. | <i>Herbívoros</i> | 15 |
| 2.2.8.3. | <i>Parasitoides</i> | 15 |
| 2.2.8.4. | <i>Parásitos</i> | 15 |
| 2.2.8.5. | <i>Detritívoros</i> | 15 |
| 2.2.9. | <i>Tipos de redes utilizadas para la captura de macroinvertebrados</i> | 17 |
| 2.2.9.1. | <i>Red Surber</i> | 17 |
| 2.2.9.2. | <i>Red patada</i> | 17 |
| 2.3. | Bases conceptuales | 18 |
| 2.3.1. | <i>Biomonitoreo</i> | 18 |
| 2.3.2. | <i>Bioindicación</i> | 18 |
| 2.3.3. | <i>Cuenca hidrográfica</i> | 18 |
| 2.3.4. | <i>Calidad del agua</i> | 18 |
| 2.3.5. | <i>Ecosistemas acuáticos</i> | 19 |
| 2.3.6. | <i>Efluente</i> | 20 |
| 2.3.7. | <i>Eutrofización</i> | 20 |
| 2.3.8. | <i>Especies invasoras</i> | 20 |
| 2.3.9. | <i>Monitoreo</i> | 20 |
| 2.3.10. | <i>Ríos</i> | 21 |
| 2.3.11. | <i>Taxonomía</i> | 21 |
| 2.4. | Base legal | 21 |
| 2.4.1. | <i>Constitución de la República del Ecuador</i> | 21 |
| 2.4.1.1. | <i>Título II: Derechos</i> | 21 |
| 2.4.1.2. | <i>Título VI: Régimen de desarrollo</i> | 22 |
| 2.4.2. | <i>Código Orgánico Ambiental</i> | 22 |
| 2.4.3. | <i>Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua</i> | 22 |
| 2.4.4. | <i>Acuerdo Ministerial 097 A</i> | 23 |

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| 3. MARCO METODOLÓGICO | 24 |
| 3.1. Descripción del área de estudio..... | 24 |
| 3.2. Metodología | 24 |
| 3.2.1. <i>Determinación de los puntos de monitoreo</i> | 24 |
| 3.3. Realización de monitoreos..... | 25 |
| 3.4. Valoración del Índice de Hábitat Fluvial..... | 26 |
| 3.5. Determinación del Índice de Hábitat Fluvial..... | 26 |
| 3.6. Determinación del índice WQI de la NSF..... | 26 |
| 3.7. Monitoreo de parámetros físico-químicos | 27 |
| 3.7.1. <i>Metodología</i> | 28 |
| 3.8. Conservación de las muestras | 28 |
| 3.9. Análisis de los parámetros físico químicos en laboratorio | 29 |
| 3.10. Análisis de los datos de parámetros físico químicos y microbiológicos | 30 |
| 3.11. Muestreo de bioindicadores | 30 |
| 3.11.1. <i>Metodología</i> | 30 |
| 3.12. Conservación de macroinvertebrados y limpieza de equipos | 31 |
| 3.13. Identificación de macroinvertebrados bentónicos..... | 31 |
| 3.14. Cálculo de índice BMWP/Col | 31 |

CAPÍTULO IV

| | |
|---|----|
| 4. RESULTADOS | 33 |
| 4.1. Descripción de los puntos de monitoreo | 33 |
| 4.1.1. <i>PT- 1</i> | 33 |
| 4.1.2. <i>PT-2</i> | 33 |
| 4.1.3. <i>PT-3</i> | 34 |
| 4.2. Resultados para la valoración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos | 36 |
| 4.2.1. <i>pH</i> | 36 |
| 4.2.2. <i>Temperatura</i> | 37 |
| 4.2.3. <i>Oxígeno Disuelto</i> | 38 |
| 4.2.4. <i>Sólidos totales disueltos</i> | 39 |
| 4.2.5. <i>Turbidez</i> | 40 |
| 4.2.6. <i>DBO</i> | 40 |
| 4.2.7. <i>Nitratos</i> | 41 |
| 4.2.8. <i>Fosfatos</i> | 42 |
| 4.3. Resultados del ICA según la NSF | 43 |
| 4.4. Comparación entre los índices BMWP/Col y WQI (NSF) | 46 |

| | |
|------------------------------|----|
| CONCLUSIONES | 50 |
| RECOMENDACIONES | 51 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabla 1-3: | Ubicación de los puntos de monitoreo | 25 |
| Tabla 2-3: | Niveles de calidad del Índice de Hábitat Fluvial | 26 |
| Tabla 3-3: | Parámetros del índice WQI de la NSF | 27 |
| Tabla 4-3: | Rangos para la calidad del agua mediante el índice WQI de la NSF..... | 27 |
| Tabla 5-3: | Procedimientos de recolección de muestras fisicoquímicas y microbiológicas | 28 |
| Tabla 6-3: | Equipos y métodos para análisis microbiológicos y físico-químicos. | 29 |
| Tabla 7-3: | Métodos para la recolección de bioindicadores bentónicos..... | 30 |
| Tabla 8-3: | Puntajes de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col | 32 |
| Tabla 9-3: | Rangos para la calidad del agua según el índice BMWP/Col..... | 32 |
| Tabla 1-4: | Resultados del índice de Hábitat Fluvial (IHF) | 35 |
| Tabla 2-4: | Resultados del ICA, estaciones PT-1, PT-2 y PT-3, mes de mayo, junio y julio... | 43 |
| Tabla 3-4: | Datos del índice BMWP/Col para las tres estaciones durante el monitoreo | 45 |
| Tabla 4-4: | Análisis comparativo entre los índices BMWP/Col y WQI (NSF)..... | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 1-2: | Necton de un ambiente acuático | 14 |
| Figura 2-2: | Neuston de un ambiente acuático | 15 |
| Figura 3-2: | Bentos de un ambiente acuático | 15 |
| Figura 4-2: | Diseño de la red Surber | 17 |
| Figura 5-2: | Diseño de red patada | 18 |
| Figura 1-3: | Ubicación geográfica y estaciones de monitoreo del río Tuna..... | 25 |
| Figura 1-4: | Estación PT-1 del río Tuna..... | 33 |
| Figura 2-4: | Estación PT-2 del río Tuna..... | 34 |
| Figura 3-4: | Estación PT-3 del río Tuna..... | 34 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gráfico 1-4: | Variación del Hábitat Fluvial para las estaciones de monitoreo | 35 |
| Gráfico 2-4: | Valoración de las tres estaciones durante los meses de monitoreo | 36 |
| Gráfico 3-4: | Variación de las temperaturas de las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3. | 37 |
| Gráfico 4-4: | Variación del OD en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3 | 38 |
| Gráfico 5-4: | Variación de los STD en las tres estaciones durante el monitoreo | 39 |
| Gráfico 6-4: | Valoración de la turbidez en las tres estaciones de estudio | 40 |
| Gráfico 7-4: | Valoración de la DBO en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3 | 40 |
| Gráfico 8-4: | Valoración de los nitratos en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3..... | 41 |
| Gráfico 9-4: | Valoración de los fosfatos en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3 | 42 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PARROQUIA HUAMBOYA
- ANEXO B:** MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y CUERPOS DE AGUA DE LA PARROQUIA HUAMBOYA EN 2014
- ANEXO C:** ESTACIONES DE MONITOREO, COMUNIDAD MARÍA AUXILIADORA
A) PT-1; B) PT-2 Y C) PT-3
- ANEXO D:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MACROINVERTEBRADOS
- ANEXO E:** ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
- ANEXO F:** RESULTADOS DE TURBIDEZ, FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS ESTACIONES PT-1, PT-2 Y PT-3
- ANEXO G:** TABLA DE VALORACIÓN DEL ÍNDICE DE HÁBITAT FLUVIAL
- ANEXO H:** BIOINDICADORES REPRESENTATIVOS EN EL TRAMO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TUNA
- ANEXO I:** RESULTADOS DE ÍNDICE DE LA WQI (NSF) EN EL SOFTWARE IQADATA

RESUMEN

Este proyecto tuvo como objetivo determinar la calidad del agua del río Tuna, a través de la identificación de macroinvertebrados, por medio del índice *Biological Monitoring Working Party* de Colombia (BMWP/Col), respaldado por el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) y el índice físico-químico Índice de Calidad del Agua (ICA) de la NSF. Se determinaron tres estaciones de monitoreo, realizando una toma de muestra mensual durante tres meses. Se realizaron análisis físicoquímicos *in-situ* con la medición de la temperatura, OD y pH, mientras que la DBO₅, fosfatos, nitratos, STD, coliformes fecales y turbidez se analizaron en laboratorio. Las valoraciones del índice IHF se realizaron de manera directa en cada una de las estaciones generando una calidad BUENA en todos sus puntos durante todo el periodo de monitoreo. Como resultado, con el índice BMWP/Col presenta una calidad de agua ACEPTABLE en las estaciones PT-1 y PT-3 durante los tres meses, a excepción del PT-2 que muestra una calidad DUDOSA durante el mes de julio y ACEPTABLE en los meses de mayo y junio. Sin embargo, las valoraciones proporcionadas mediante el índice ICA de la NSF registraron una calidad de agua REGULAR en todas las estaciones de estudio. La comparación descriptiva entre los índices BMWP/Col y el ICA de la NSF demuestran una diferencia significativa por la relación espacio-temporal que brinda el índice de macroinvertebrados, mientras que el ICA (NSF) refleja resultados únicamente del día en que fueron tomadas las muestras a través de 9 parámetros. Se concluye que la calidad del agua es aceptable en función de los tres índices aplicados. Se recomienda monitoreos constantes a través del afluente para identificar las actividades antropogénicas que alteran la calidad del agua y desarrollar capacitaciones para concienciar sobre las posibles consecuencias.

Palabras clave: <MACROINVERTEBRADOS>, <CALIDAD DEL AGUA>, <HUAMBOYA (PARROQUIA)>, <ÍNDICE HÁBITAT FLUVIAL (IHF)>, <BIOINDICADORES>, <ANTROPOGÉNICA>, <BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY PARA COLOMBIA (BMWP/Col)>, <EFLUENTES>.

Inés
Zapata

Firmado digitalmente por Inés
Zapata
DN: cn=Inés Zapata govirala,
Zapata, o=ESPOCH, ou=DBRA,
e=Inés.zapata@esPOCH.edu.ec
Motivo: Aprobado este documento
Ubicación:
Fecha: 2022-03-08 08:29:05:00



0412-DBRA-UPT-2022

ABSTRACT

This Project aims to determine the water quality of Tuna river, by identifying the macroinvertebrates, through the *Biological Monitoring Working Party* index of Colombia (BMWP/Col), supported by the River Habitat Index (RHI) and the physicist-chemical Water Quality Index (WQI) of NSF. Three monitoring stations were determined, and a sample was obtained monthly for three months. A physicist-chemical analysis was conducted *in situ* by measuring the temperature, DO and pH; whereas, BOD₅, phosphates, nitrates, ETS, faecal coliforms and turbidity were analyzed in the laboratory. The RHI index valuations were handled directly in each station, creating a GOOD quality regarding its criteria during the monitoring period. As a result, BMWP/Col index shows an ACCEPTABLE water quality with reference to station PT-1 and PT-3 for the three-months period, except PT-2, which indicates a DOUBTFUL quality in July and an ACCEPTABLE one in May and June. Furthermore, WQI index results of NSF recorded as a REGULAR water quality in each station. The descriptive comparison between BMWP/Col index and WQI index of NSF show a significantly difference as per the space-time relationship that the macroinvertebrates index yields; whereas the WQI (NSF) reflects just only the results obtained through the 9 parameters, which were taken that day specifically. In conclusion, the water quality is considered acceptable according to the three applied indexes. It is recommended continuous monitoring through the tributary to identify the anthropogenic activities, which disrupt the water quality and develop abilities to raise awareness about the possible consequences.

Keywords: <MACROINVERTEBRATES>, <WATER QUALITY>, <HUAMBOYA (CIVIL PARISH)>, <RIVER HABITAT INDEX (RHI)>, <BIOINDICATORS>, <ANTHROPOGENIC>, <BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY OF COLOMBIA (BMWP/Col)>, <EFFLUENTS>.



INTRODUCCIÓN

El agua es amenazada por la constante contaminación que se genera debido a la actividad humana y la disminución de los recursos hídricos que son consecuencia del calentamiento global. La contaminación de agua dulce se relaciona con problemas de salud pública los cuales no solo afectan a las poblaciones y a los animales, sino también al ambiente en general (Duarte, 2018, p. 2). A nivel mundial se ha evidenciado una gran crisis de sostenibilidad para los ecosistemas naturales destacando entre ellos el recurso acuático, esta crisis surge debido al desarrollo de modelos industriales y la producción extractivista que ha generado percibir el agua dulce como un “recurso inagotable” (Sánchez y Tello, 2019, p. 65).

El Ecuador es un país rico en recursos hídricos cuya interacción con el hombre ha ocasionado problemas de contaminación, provocando la pérdida de flora y fauna autóctona. (Sánchez y Tello 2019: p.64). Además, debido al incremento poblacional se han generado desigualdades sociales lo cual ha alterado los recursos naturales contaminando al medio ambiente y en particular el deterioro de la calidad del agua (Da Ros, 1995, p. 21).

La calidad del agua de los ríos de la provincia de Morona Santiago se encuentra intervenidas por microorganismos patógenos y materia fecal generada por animales que desembocan en los cuerpos hídricos, debido a la falta de sistemas de recolección en un 90 % de aguas residuales en los cantones de la provincia, los ríos disminuyen su calidad del agua generando impactos negativos (Sánchez y Tello, 2019, p. 65).

Así, el índice biológico BMWP/Col, debido a que posee gran versatilidad, permite generar una evaluación rápida y acertada, basándose en ponderaciones de sensibilidad que poseen los macroinvertebrados acuáticos, es por ello que este índice proporciona una mejor alternativa para el diagnóstico de la calidad del agua (Sánchez, 2005, p. 66).

Los macroinvertebrados son uno de los índices biológicos que más se han utilizado para la evaluación de ecosistemas fluviales ya que posee características y requerimientos especiales que han evolucionado de acuerdo a sus condiciones ambientales lo que permite que estos organismos posean límites de tolerancia específicos conforme al hábitat en donde se encuentren (Arroyo y Encalada, 2009, p. 11).

Además, los métodos biológicos como Índice de Hábitat Fluvial (IHF) e Índice de Calidad del Agua ICA- NSF permiten complementar información para la toma de decisiones referentes a la calidad del agua de un afluente. El Índice de Hábitat Fluvial valora el estado en que se encuentra el micro hábitat de los macroinvertebrados, con respecto a las características de su entorno, mientras que el ICA-NSF analiza los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del recurso hídrico (Duchitanga, 2019, p. 2).

El cantón de Huamboya cuenta con una hidrografía constituida por microcuencas y drenajes menores que sirven de captación de agua por las comunidades del sector, entre ellos el río Chiguaza, río Grande Wawaim, río Najembaim y el río Tuna, siendo el último de gran interés ya que no cuenta con estudios acerca de su calidad del agua, pues se encuentra en un lugar alejado y de difícil acceso, siendo utilizado para consumo humano, plantaciones de cultivos, pastos, y crianza de animales (PDOT, 2014, p. 42).

El proyecto técnico determinará la calidad del agua del río Tuna mediante índices físico-químicos, Índice de Hábitat Fluvial, índice BMWP/Col e índice de familias de macroinvertebrados permitiendo la adecuada gestión del recurso hídrico y contribuyendo a la población de la comunidad María Auxiliadora mediante continuos monitoreos distribuidos en diferentes puntos a lo largo del río.

El presente trabajo de investigación está conformado por 4 capítulos, divididos de la siguiente manera: el Capítulo 1 analiza la problemática de la zona de estudio y su calidad del agua, el Capítulo 2 describe los fundamentos teóricos relacionados con la calidad del agua y sus métodos de análisis, el Capítulo 3 detalla el marco metodológico y los procesos ejecutados durante la investigación, y el capítulo 4 analizará los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, permitiendo el adecuado análisis y gestión de la calidad del agua del río Tuna.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso importante que se ha visto alterado por las actividades naturales y antropogénicas que intervienen el afluente, sin embargo, las fuentes que proporcionan aguas superficiales sirven de transporte para especies bacteriológicas e incorporación de sustancias químicas ocasionando problemas de riesgo sanitario a largo plazo (Cirelli, 2012, p. 1).

En la actualidad es una necesidad a nivel mundial aplicar el conjunto de técnicas y parámetros para analizar la calidad de los recursos hídricos, debido a que abarca aspectos sociales, económicos y ambientales que poseen sinergia entre sí, con ideales de alcanzar un desarrollo sostenible y sustentable, así como regular la actividad antropogénica que permita salvaguardar la cantidad y calidad de las fuentes hídricas (Navas et al., 2009, p. 10).

La caracterización de la calidad del agua que presenta un río, se encuentra determinada por el nivel, grado e intensidad de contaminación que contenga, su origen puede ser químico, físico o biológico (Fernández et al.,2017, p. 20).

Los ríos del Ecuador poseen gran importancia económica, social y ecológica, permitiendo la sostenibilidad de un gran número de actividades como la industria agrícola y ganadera, lo que ocasiona impactos en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, genera problemas de contaminación, afecta a la disminución de caudales y a la pérdida de hábitats, sin embargo, no cuentan con muchos estudios que brinden información sobre su calidad del agua (Guevara, 2018, p. 1) (Salazar, 2018, p. 18).

La región amazónica constituye grandes fuentes de economía y cultura, ya que posee amplias regiones de biodiversidad y lugares endémicos, habitados por pueblos ancestrales que se encuentran en peligro de extinción, debido al aumento poblacional y el cambio climático los ecosistemas que conforman extensas áreas se han visto afectadas en sus recursos hídricos, de lo cual se estima que en 60 años se extinguirían muchas especies de animales y plantas, afectando a la población en un 40 % debido al recurso vital (Salazar, 2018, p. 18).

El impacto de la contaminación ambiental ha ocasionado alteraciones en los ríos y afluentes de agua de la provincia de Morona Santiago debido a que las personas utilizan dichos afluentes para satisfacer sus necesidades básicas y abastecer los riegos de sus cultivos (Salazar, 2018, p. 16).

La provincia de Morona Santiago con el transcurso del tiempo ha sufrido intervenciones en sus ríos durante los últimos 30 años, causados por la actividad minera y la desembocadura de aguas residuales hacia los afluentes cercanos a las comunidades, desencadenando alteraciones al recurso agua y al hábitat existente del ecosistema, perjudicando las actividades agrícolas, pecuarias y forestales que permiten el desarrollo de los habitantes en la provincia (Guevara, 2018, p. 1).

De acuerdo al PDOT de la Provincia de Morona Santiago 2014-2019, entre los principales problemas de contaminación del agua están: los ríos contaminados nacientes en la sierra, zonas ganaderas y aguas servidas de los centros poblados (PDOT, 2014, p. 43).

La microcuenca del río Tuna posee características de un bosque intervenido en un 60%, del cual posee un área mínima conformada de bosque nativo sin actividad humana, algunas áreas que presentan acumulación de materiales pétreos inertes son utilizados para la construcción de obras viales para el beneficio de la parroquia (PDOT, 2014, p. 44).

Este proyecto aportará los resultados obtenidos de la calidad del agua del río Tuna permitiendo conocer el grado de contaminación que posee el afluente en sus diferentes puntos, cuya información servirá de línea base para realizar posteriores estudios que ayudarán a fundamentar y promover el buen manejo y la conservación del recurso hídrico para los pobladores de la comunidad María Auxiliadora y las autoridades competentes de la parroquia.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en el tramo del río Tuna de la comunidad María Auxiliadora provincia de Morona Santiago.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Establecer los puntos de monitoreo para la recolección de muestras
- Evaluar el hábitat del cauce mediante el índice del hábitat fluvial (IHF)
- Determinar la calidad del agua del río Tuna, tramo de la comunidad María Auxiliadora, a través del índice WQI de la NSF.
- Realizar una comparación descriptiva entre los índices BMWP/Col y WQI con respecto a sus valoraciones de calidad del agua.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

Los recursos hídricos han presentado cambios físicos y químicos a inicios del siglo pasado por factores que han modificado sus caudales, permitiendo encauzamientos por varias actividades como la agricultura, la industria y urbanización generando la destrucción del recurso agua y alterando la calidad del afluente (Guevara, 2018, p. 15).

Los impactos antrópicos han ocasionado cambios en la flora y fauna de ecosistemas dulceacuícolas alterando sus hábitats, permitiendo realizar estudios sobre la calidad del agua al recurso hídrico. Durante los últimos años el estudio de poblaciones de macroinvertebrados a demostrado ser un indicador de calidad de agua muy representativo, debido a la información que brindan ya que al encontrarse ampliamente distribuidos en la naturaleza y ser sensibles a estímulos naturales o antropogénicos facilitan su estudio (Guevara, 2018, p. 18).

Las ventajas de utilizar los parámetros físico-químicos se basa en su rápida obtención de resultados, permitiendo conocer una gran información extensa de la naturaleza y propiedades del agua, además de poder realizar monitoreos con mayor frecuencia (Coello et al., 2013, p. 67).

En la región amazónica del Ecuador existe gran actividad turística que se desarrolla en los recursos hídricos principalmente en la provincia de Pastaza, por las construcciones de diques que permiten el represamiento del caudal del río para fines de ocio o diversión, generando impactos negativos a las fuentes hídricas y alterando su calidad (Heredia, 2015, p. 1).

Vélez (2017) menciona en su estudio realizado sobre la calidad del agua del río copueno en el cantón Morona que presenta una calidad buena y aceptable mediante especímenes recolectados de índices biológicos durante la temporada húmeda, mientras que Méndez (2020) determina mediante el índice de calidad del agua NSF una calidad buena, regular y mala en diferentes puntos del río, demostrando de esta manera la afectación de descargas de aguas residuales al afluente.

El cantón Huamboya no cuenta con investigaciones de calidad del agua realizadas en sus ríos, debido a que es un lugar rural apartado, desconociendo de esta manera la calidad del agua que poseen sus afluentes, al igual que se requiere mayor control por parte del Ministerio del Ambiente en los municipios para definir y hacer cumplir la descarga del límite permisible hacia los efluentes, ya que existe poca preservación al recurso hídrico por parte de las autoridades municipales, debido a la actividad antropogénica generada, ésta investigación permitirá determinar índices de calidad a lo largo del tramo de la comunidad María Auxiliadora en el río

Tuna y realizar comparaciones entre parámetros físicos-químicos y macroinvertebrados bentónicos obteniendo resultados que proporcionarán datos para el análisis del recurso hídrico.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación del agua

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el agua se encuentra contaminada cuando sus condiciones se ven modificados alterando su composición y estado natural, ya que al modificarse pierde sus condiciones que la caracterizan apta para el consumo que sea destinado. Un agua contaminada demuestra cambios y alteraciones físicas como (temperatura, densidad, color, suspensiones, radiactividad) de la misma manera existen cambios químicos como las sustancias disueltas, su composición y cambios biológicos que no permiten cumplir sus funciones ecológicas (Rodríguez, 2009, p. 11).

La contaminación de las aguas puede originarse de dos formas, ya sea por origen natural o antrópico, éste último es producido por varias actividades que desarrolla el ser humano, demostrando ser una fuente principal de contaminación del agua, principalmente utilizada por la industrialización que requiere de mayor uso de la misma, generando residuos, mientras que las de origen natural se encuentran dispersas provocando bajas concentraciones de contaminantes, excepto en yacimientos minerales que se encuentran en zonas específicas (Rodríguez, 2009, p. 11).

2.2.2. Tipos de contaminación

2.2.2.1. Contaminación difusa

La contaminación difusa en contraste es más compleja y difícil de determinar, ya que involucra su transporte y transformación de los desechos por diferentes alternativas como la deposición atmosférica, aplicación de contaminates al suelo y cambios químicos del suelo, afectando varios factores: aire, suelo y agua (Bravo et al., 2013, p. 2).

Uno de los procesos naturales que es causado a menudo en el agua, es la eutrofización creando problemas por sí misma en la calidad del agua de todos los países de América. Estos contaminantes son difíciles de regular debido a que es imposible conocer el punto de origen (Molina, 2019, p. 14).

2.2.2.2. Contaminación puntual

La contaminación puntual es producto de los efluentes de aguas residuales, facilitando su identificación, como la descarga final de una tubería o canal. De esta manera se facilita su monitoreo al permitir su vigilancia cuya finalidad es de hacer cumplir con las normativas vigentes y poder determinar contaminación a los cuerpos receptores. La contaminación puntual abarca los efluentes de aguas residuales municipales e industriales por medio de su identificación y caracterización (Bravo et al., 2013, p. 2).

Éste tipo de contaminación es posible poder identificar su punto de ubicación, facilitando de esta manera el cumplimiento de las normas reglamentarias (Molina, 2019, p. 14).

2.2.3. Índice de calidad del agua

El índice de la calidad del agua permite explicar de manera simple el resultado de una combinación casi compleja que se encuentra determinada por ciertos parámetros establecidos los cuales me permiten obtener las características de la calidad del agua, la ventaja de aplicar el ICA es por su fácil entendimiento gracias a los valores numéricos que se generan y a su vez permiten ser utilizados por biólogos, ambientales, ingenieros sanitarios, incluso para las personas que desconozcan acerca de éstos términos (Pérez, 2020, p. 15).

2.2.3.1. Método de valoración WQI

El método Water Quality Index (WQI) es utilizado para el reconocimiento de la calidad del agua que posee un río, laguna o fuente hídrica, permitiendo conocer su grado de contaminación al agua conforme a la fecha en que se realiza el muestreo, además puede existir cambios y alteraciones en el transcurso del cuerpo de agua por diferentes factores (Chávez, 2016, p. 10).

Sus siglas en inglés permiten valorar el agua, lo que significa si existe un agua pura, se obtiene un valor aproximado a 100%, representando condiciones óptimas al afluente, mientras que si refleja valores cercanos a 0, esto nos indica que el agua es contaminada. Para ello es necesario el análisis de 9 parámetros los cuales se calculan por medio del software NSF WQI (Chávez, 2016, p. 10).

2.2.4. Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

El índice de hábitat fluvial permite realizar la evaluación acerca de la complejidad estructural que poseen los hábitats de los ríos, permitiendo el registro de la variación natural que se encuentra en

el espacio y la dinámica temporal que existen en los componentes de los ecosistemas (Pardo et al., 2002, p. 127).

El IHF permite determinar aspectos físicos que presenta el cauce, relacionándose con el hábitat que presenta mayor medida en la hidrología y sustrato existente, en donde se pueden identificar frecuencia de rápidos, presencia de distintos regímenes de profundidad y velocidad, sedimentación en pozas, grado de inclusión, diversidad y representación de sustratos. Se procede a realizar una evaluación en el que se indique los elementos que influyen en el incremento de diversidad que posee el hábitat físico y las fuentes alimenticias de origen autóctono como hojas, fragmentos de madera y la presencia de varios productores primarios (Chávez, 2016, p. 12).

2.2.4.1. Aspectos a evaluar en el Índice de Hábitat Fluvial

Inclusión en rápidos- sedimentación en pozas: para la inclusión de rápidos se requiere una contabilización del grado de las partículas que se encuentran fijas al lecho del río, mientras que la sedimentación es el resultado de la deposición de material particulado fino a las zonas lenticas que posee el río.

Frecuencia de rápidos: se determina por medio del promedio en que aparecen los rápidos con respecto a las zonas más remansas.

Porcentaje de sombra presente en el cauce: permite analizar visualmente la sombra que se proyecta alrededor de la cubierta vegetal para determinar la porción de luz que llega al canal del río.

Composición del sustrato: es el estimado de la perspectiva visual que se aproxima a la composición promedio del sustrato.

Elementos de heterogeneidad: permite medir la presencia de hojas, ramas y raíces que se encuentran en el lecho del río, los mismos que contribuyen como fuente de alimento a los microorganismos acuáticos.

Regímenes de profundidad/ velocidad: evalúan el conjunto de las diferentes velocidades y la profundidad existente de la columna de agua del tramo del río.

Cobertura de vegetación acuática: mediante este aspecto se puede medir la cobertura existente de vegetación acuática que existe en el cauce fluvial (Duchitanga, 2019, p. 15).

2.2.5. Índice Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col)

El Índice *Biological Monitoring Working Party* se estableció en Inglaterra en el año 1970, demostrando ser un método sencillo y rápido para poder evaluar la calidad del agua que presenta un río mediante la identificación de macroinvertebrados como bioindicadores (Pérez, 2003, p. 29).

2.2.5.1. Método BMWP/Col

Este método busca llegar a los niveles de familia por medio de datos cualitativos, su puntaje se encuentra establecido en un rango del 1 al 10 que se basa de acuerdo al nivel de tolerancia que poseen los diferentes grupos ante la contaminación orgánica (Tabla 8-3), entre las familias que indican mayor sensibilidad se encuentran los Perlidae y Oligoneuriidae ya que representan el puntaje más alto de 10, por el contrario los más tolerantes a la contaminación tenemos la familia Tubificidae que reciben la puntuación de 1 (Pérez, 2003, p. 29).

2.2.6. Parámetros físico químico

2.2.6.1. Potencial de Hidrógeno

Permite medir en el agua la concentración de iones de Hidrógeno determinando su acidéz o si se encuentra básica, es parte de los parámetros de la calidad del agua e indispensable en la detección de la corrosividad. Un agua pura posee un pH que varía entre 6,5 y 8,5 , al encontrarse bajo los niveles de 6,5 se considera una agua corrosiva, misma que puede disolver iones metálicos, causando daños en las tuberías metálicas, se considera alcalina cuando se encuentra con valores mayores de 8,5 ocasionando problemas con una agua dura (Carcelén, 2017, p. 10).

El registro de pH en el agua se puede presentar de tipo natural o artificial ya que éste puede variar entre 4,5 y 8,5, la lluvia posee un pH de 5,6 junto al CO₂ atmosférico para mantenerse en equilibrio, de manera natural lo podemos encontrar como anhídrido carbónico disuelto, el cual procede de la atmósfera, con respecto a la calidad de agua potable es recomendable tener valores entre 6,5 y 8,5 (Zamora, 2009, p. 127).

2.2.6.2. Turbidez

Es uno de los parámetros que permite analizar el nivel de transparencia del agua, el mismo que está dado por la agrupación de partículas que se encuentran en suspensión, expresa de manera óptica la proyección de rayos de luz que absorbe el agua, al presentar turbidez el agua, significa que existe una gran cantidad de sólidos disueltos y totales representando una baja calidad para su tratamiento (Carcelén, 2017, p. 9).

La turbidez permite medir la capacidad de dispersión o absorción que refleja la luz al agua intervenida por materiales en suspensión como: limos, arcillas, plancton, coloides orgánicos y organismos microscópicos, para realizar su medición es necesario el uso de turbidímetros mediante el proceso fotométrico (Espinoza, 2015, p. 32).

2.2.6.3. Conductividad

Es aquella capacidad que permite transportar en una solución acuosa la corriente eléctrica, sin embargo depende de factores como valencia, movilidad, iones disueltos y temperatura del agua, por lo general en aguas dulces posee valores relativamente bajos por la presencia de materia orgánica y coloides que interfieren en la conducción de la corriente eléctrica (Carcelén, 2017, p. 9).

La conductividad eléctrica que posee el agua permite medir su capacidad para la conducción de corriente eléctrica, la misma que se encuentra relacionada con la materia ionizada total (cationes y aniones) presente en el agua, por ellos su variación permite indicar los problemas de contaminación (Espinoza, 2015, p. 37).

2.2.6.4. Nitratos

Son compuestos que se forman principalmente de nitrógeno encontrándose presente en el agua, suelo, plantas y alimentos, los nitratos aparecen en el agua como la forma más oxidada del nitrógeno permitiendo ver el grado de contaminación generados por actividades antropogénicas como la crianza de animales y vertederos municipales (Carcelén, 2017, p. 8).

Los nitratos son buenos indicadores de la presencia de aguas residuales domésticas, al encontrarse en grandes concentraciones pueden ocasionar el incremento de especies vegetales que aportan oxígeno en la superficie acuática, sin embargo al morir consumen gran cantidad de oxígeno disuelto (Salazar, 2020, p. 22).

Los afluentes que contienen niveles altos de nitratos también poseen niveles altos de DBO, causado por las bacterias que se alimentan de desperdicios vegetales orgánicos, por lo general se considera un agua aceptable cuando sus valores se encuentran por debajo de los 100 mg/l (Salazar, 2020, p. 22).

2.2.6.5 Fosfatos

Se encuentran presentes en aguas dulceacuícolas en concentraciones pequeñas formadas por fósforo, por lo general provienen de fertilizantes que se filtran en el suelo y afectan al recurso agua, aparecen en aguas residuales y vertimiento de aguas superficiales por productos de limpieza y detergentes, los compuestos como el fosforo aportan nutrientes a las plantas y ayudan al crecimiento de algas en aguas superficiales promoviendo el proceso de eutrofización de las aguas (Carcelén, 2017, p. 9).

Al existir gran cantidad de fosfato en el agua se genera un alto crecimiento de plantas, además contribuyen al crecimiento de las algas. Para reconocer el incremento de algas en el medio

acuático se observan capas de limo verde que cubren la superficie del efluente causando la muerte de muchos microorganismos (Chávez, 2016, p. 9).

2.2.6.6. *Coliformes fecales*

Los coliformes fecales pertenecen a un subgrupo de la familia de coliformes totales, se estima que el 95% de los coliformes se encuentran presentes en heces formados por *Echerichia Coli* y algunas especies de *Klebsiella*. Al encontrarse los coliformes fecales en las heces de animales de sangre caliente permiten reflejar el grado de contaminación fecal. Su presencia permite determinar que los patógenos pueden estar presentes o ausentes en el agua y que pueden contraer enfermedades a las personas (Carcelén, 2017, p. 9).

Las bacterias que conforman los coliformes se refiere al grupo de bacterias de origen fecal que se pueden encontrar en el intestino del hombre y animales, en este caso su enfoque es la *Escherichia Coli* que se utiliza como indicador de contaminación, poseen gran capacidad de crecimiento a temperaturas elevadas haciendo posible la detección y existencia de heces en el recurso hídrico (Mendoza, 2019, p. 58).

2.2.6.7. *Sólidos totales*

Los sólidos totales es todo lo que se obtiene mediante el resultado de la evaporación de una muestra de agua entre una temperatura que oscila 103- 105°C, el resultado de los sólidos totales corresponde a la suma del residuo disuelto con el suspendido (Charcopa y Condo, 2015, p. 35).

2.2.6.8. *Sólidos filtrables*

Los sólidos filtrables están constituidos por los sólidos coloidales y disueltos que se encuentran en el agua, su separación no es posible mediante factores físicos como la filtración o la sedimentación, mientras que los sólidos coloidales se pueden remover por medio de la coagulación ya que presentan mayor característica que los sólidos disueltos permitiendo su remoción por un tratamiento convencional, sin embargo los sólidos disueltos presentan dificultad para ser removidos, en su eliminación se debe realizar un tratamiento avanzado como la utilización de membranas ya que al presentar características de poros muy pequeños suelen permanecer atrapadas (Charcopa y Condo, 2015, pp. 35-36).

2.2.6.9. Sólidos en suspensión

Cuando existe una gran cantidad de sólidos en suspensión, será mayor el grado de turbidez que presente el agua, son diferentes de los sólidos disueltos ya que pueden separarse sin dificultad mediante procesos mecánicos como la filtración y la sedimentación. Los sólidos suspendidos están compuestos por material orgánico e inorgánico encontrándose microorganismos y partículas de arcillas (Charcopa y Condo, 2015, p. 36).

2.2.6.10. Demanda Biológica de Oxígeno

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) hace referencia a la materia orgánica que puede ser biodegradable mediante la acción de microorganismos, se encuentra expresado en la cantidad de oxígeno en mg/l para determinar la oxidación, en un periodo establecido a 20°C por vía biológica de aquellas materias orgánicas contaminantes (Espinoza, 2017, p. 20).

2.2.6.11. Oxígeno Disuelto

Es uno de los parámetros más importante en la determinación de calidad del agua, podemos encontrar el oxígeno disuelto en aguas naturales muy variado debido a procesos físico-químicos y biológicos que se generan de forma indeterminada. El aire es la principal fuente de oxígeno que se difunde rápidamente a través de las turbulencias del río, cuando el agua y el oxígeno atmosférico se encuentran en equilibrio, la transferencia de oxígeno entre los dos se mantendrá ausente (Criollo, 2018, p. 15).

2.2.6.12. Temperatura

La temperatura del agua está afectada por la radiación solar y la cantidad de luz que permiten determinar su calidad, existen zonas templadas en donde la temperatura muestra variaciones debido al cambio de estaciones, en zonas tropicales la temperatura permanece constante a lo largo del año, dependiendo si se encuentra en montañas altas o al nivel del mar, por ello existen microorganismos que se adaptan a los cambios de temperatura y se vuelven tolerables (Pérez, 2003, p. 3).

2.2.7. Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son bichos que se pueden visibilizar a simple vista, su término macro indica que son grandes, cuya medida se encuentra entre 2 mm y 30 cm, pertenecen a la

familia de los invertebrados por la ausencia de huesos, y se denominan acuáticos porque se encuentran en lugares de agua dulce como ríos, lagos, lagunas y esteros (Carrera y Fierro ,2001, p. 28). Son animales que brindan señales de calidad del agua y proporcionan gran información cuando se los usa para monitoreos indicando el estado en el que se encuentra el afluente, ya que algunos de ellos necesitan agua de buena calidad para poder sobrevivir mientras que otros resisten y crecen donde existe contaminación, un claro ejemplo son las moscas de piedra que viven en agua limpia y se van cuando el agua está contaminada, por otro lado algunas larvas o gusanos de moscas abundan en agua sucia (Carrera y Fierro ,2001, p. 28).

2.2.7.1. Macroinvertebrados como indicadores

En la evaluación para la calidad del ambiente y comunidades acuáticas existen técnicas que permiten determinar la alteración de condiciones a un medio en el que habitan macroinvertebrados, éstas pueden identificarse por diferentes niveles, cuando existen alteraciones de tamaños considerables se obtienen efectos notorios en la comunidad dando lugar a posibles cambios de magnitudes mayores y generando la desaparición de las especies (Guevara, 2018, p. 19).

2.2.7.2. Hábitats de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados se encuentran en hábitats variados, razón por la cual difieren unos con otros debido a que existen algunos que se adhieren a troncos, piedras, vegetación, mientras que otros se encuentran en las orillas del río, pueden esconderse en sustratos arenosos o encontrarse nadando en la superficie del afluente (Vélez, 2017, p. 16).

Existen macroinvertebrados que prefieren estar en corrientes rápidas y poseen capacidades para adaptarse en ventosas, ganchos o cuerpos aplanados para de esta manera resistir a la fuerza que ejerce la corriente y por otro lado existen los que prefieren remansos para situarse en un determinado lugar, debido a que son más indefensos y no tienen mucha resistencia a las corrientes hídricas (Vélez, 2017, p. 16).

Los macroinvertebrados pueden vivir:

- Sitios correntosos
- Sustratos arenosos o lodosos
- Sobre o debajo de las piedras
- Troncos caídos o en descomposición
- Hojas flotantes
- Aguas estancadas

2.2.7.3. Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en el fondo o en la superficie y nadar sin inconvenientes, es por ello que reciben nombres dependiendo a su tipo de adaptación.

Necton

Están conformados por organismos que pueden nadar de manera libre en el agua, entre los que se destacan tenemos: *Notonectidae* y *Corixidae* del orden *Hemiptera*, *Hydrophilidae*, *Dytiscidae* y *Gyniridae* del orden *Coleoptera* y del orden *Ephemeroptera* se encuentran los *Baetidae* (Pérez, 2003, p. 12).

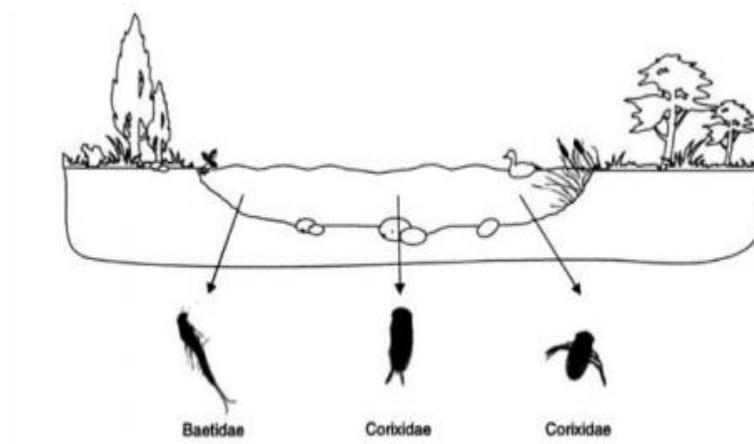


Figura 1-2: Necton de un ambiente acuático

Fuente: Roldán, 2003, p. 13.

Neuston

Hace referencia a los organismos que tienen la capacidad de caminar en la superficie del agua, brincando o patinando, parte de su exoesqueleto, uñas y patas se encuentran recubiertos por una especie de cera, lo que les permite ser impermeables y en vez de sumergirse, pueden doblar la superficie del agua superando la tensión superficial, entre ellos se encuentran las familias *Hidrometridae*, *Mesoveliidae* y *Gerridae* (Pérez, 2003, p. 12).

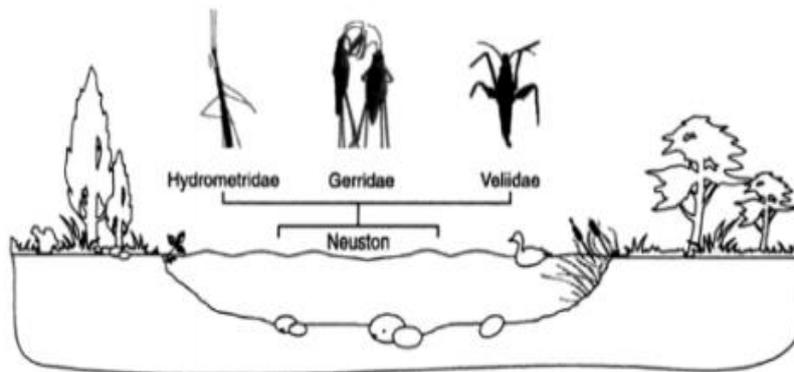


Figura 2-2: Neuston de un ambiente acuático

Fuente: Roldán, 2003, p. 12.

Bentos

Los Bentos son aquellos organismos que se encuentran en el fondo de lagos y ríos, adheridos a rocas, piedras, troncos, sustratos y restos de vegetación entre las familias principales se pueden encontrar: *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Ephemeroptera*, *Megaloptera* y *Diptera*, además podemos encontrar aquellos que se entierran en el fondo a varios centímetros de profundidad como los *Euthyplociidae* (Pérez, 2003, p. 12).

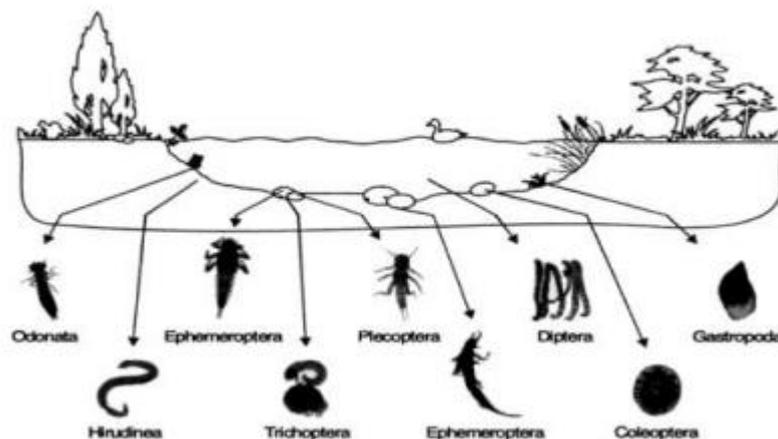


Figura 3-2: Bentos de un ambiente acuático

Fuente: Roldán, 2003, p. 13.

2.2.8. Alimentación de los macroinvertebrados

El alimento que requieren los animales que viven en agua dulce se origina en el interior del ecosistema acuático o puede provenir de arrastre terrestre. Algunos de ellos se alimentan de

organismos vivos como los herbívoros y carnívoros, sin embargo los detritívoros se alimentan de la materia en descomposición, cada categoría se divide en varios grupos funcionales con que se asocian a su comportamiento alimenticio (Hanson et al., 2010, p. 5).

2.2.8.1. Carnívoros

Se alimentan de animales que conforman tres categorías: los parasitoides, depredadores y parásitos, entre los más comunes se encuentran los depredadores, debido a que en su gran mayoría proceden a masticar su presa, mientras que otros succionan su contenido o inyectan enzimas, éstos poseen adaptaciones morfológicas para facilitar la captura de su presa, algunas especies filtradoras se convierten en depredadores cuando consumen animales planctónicos (Hanson et al., 2010, p. 5).

2.2.8.2. Herbívoros

Los herbívoros consumen plantas vasculares acuáticas, filamentosas que por lo general toman grandes pedazos de tejido vegetal (> 1mm) llamados desmenuzadores. Su alimentación puede ser externa o interna a través de minadores de tallos y hojas o suelen alimentarse de las raíces profundas que se originan de la sedimentación, existen pocos herbívoros que no son fragmentadores, algunos se alimentan de algas de tamaño microscópico y al momento de seleccionar su alimento determinan características como la disponibilidad y tamaño de la presa (Hanson et al., 2010, p. 6).

2.2.8.3. Parasitoides

Este grupo de organismos habitan en conjunto y relación íntima con un hospedero, para posteriormente matarlo. Los parasitoides a diferencia de los depredadores solo consumen un individuo, es un grupo que se encuentra en los ecosistemas acuáticos de manera escasa a comparación de los ecosistemas terrestres, a este grupo corresponden algunas especies de avispas pequeñas que pueden ingresar al agua y depositar su huevo en algún insecto acuático para alimentarse y que pueda desarrollar su larva (Hanson et al., 2010, p. 6).

2.2.8.4. Parásitos

Los parásitos similar al grupo anterior viven en relación íntima con el hospedero pero éstos no lo matan, sólo cuando la población de los parásitos existe en gran cantidad, entre algunos ejemplos

podemos encontrar *Copepoda* y *Branchiura* en peces, en las branqueas de camarones se encuentran *Bopyridae* (Hanson et al., 2010, p. 6).

2.2.8.5. *Detritívoros*

Los detritívoros se alimentan de materia orgánica que incluyen los siguientes grupos:

Los fragmentadores toman pedazos para alimentarse de las hojas que se encuentran en descomposición o partes de la madera incluyendo algunos microorganismos, dándoles mayor valor nutricional a las hojas, luego proceden a descomponer los fragmentos en partículas más pequeñas. Se ubican comunmente en lugares donde frecuente corrientes fuertes para localizar gran cantidad de alimento (Hanson et al., 2010, p. 7).

2.2.9. *Tipos de redes utilizadas para la captura de macroinvertebrados*

2.2.9.1. *Red Surber*

Es una red que se encuentra formada por la unión de dos marcos metálicos, con dimensiones de 30cm por 30 cm, al unirse entre sí uno de estos marcos permite sostener la red metálica, ésta malla posee pequeños ojos que miden 0,5 mm de diámetro, su estructura presenta forma cónica con una profundidad de 45cm.

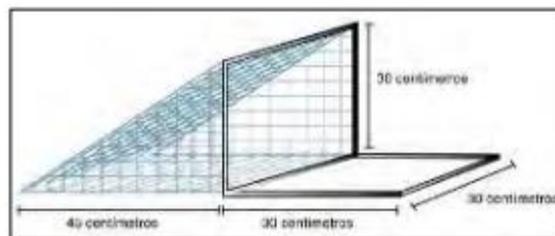


Figura 4-2: Diseño de la red Surber

Fuente: Carrera y Fierro, 2001, p. 37.

2.2.9.2. *Red patada*

La red patada está conformada por una estructura de dos palos, cuya longitud es de 1,5 m, que permite sostener la malla metálica ubicada en uno de los extremos al centro de los mangos, con dimensiones de 1m de ancho por 1m de largo, además la red contiene orificios de 0,5mm.

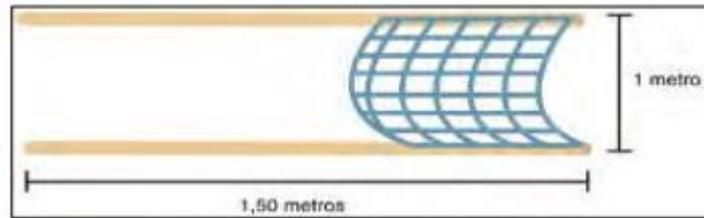


Figura 5-2: Diseño de red patada

Fuente: Carrera y Fierro, 2001, p. 38.

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Biomonitorio

Un biomonitorio es la acción de varias técnicas basadas en su relación y la sensibilidad que poseen diferentes organismos ante diversas sustancias contaminantes en el ambiente, es un tipo de evaluación que permite determinar las sustancias tóxicas que actúan a ciertos organismos (Guevara, 2018, p. 19).

2.3.2. Bioindicación

La bioindicación es representar mediante un valor numérico la presencia o ausencia de macroinvertebrados mediante su capacidad de tolerancia hacia ciertos contaminantes, una vez obtenido la suma de los valores es posible verificar el tipo de calidad que indica el ecosistema (Guevara, 2018, p. 19).

2.3.3. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica comprende un área la cual está delimitada por la dirección que recorren los cursos de agua, su función hidrológica se relaciona a un colector que capta precipitación pluvial, para luego convertirla en escurrimiento, dicha transformación es producida por la función de las condiciones climatológicas y físicas (Romero et al., 2015, p. 26).

2.3.4. Calidad del agua

La calidad del agua es un término imprescindible ya que depende de la utilización que se le realiza al agua, al mencionar un agua de buena calidad para el desarrollo y crecimiento de algas no se

debe confundir que puede ser buena para beber, el agua puede ser de calidad buena o mala dependiendo del uso que se le emplee (Zambrano, 2010, p. 7).

Los procesos naturales y las actividades humanas afectan en la calidad del agua, siendo un término neutro que no distingue su clasificación como buena o mala ya que dependerá del uso que se va a emplear para su consideración (Zambrano, 2010, p. 14).

La mayor parte de sus características biológicas y físico-químicas son empleadas para su tratamiento, el agua de uso público requiere de mejor calidad y estado, evitando minerales que causen problemas biológicos y fisiológicos, además no debe presentar organismos patógenos (Chávez, 2016, p. 5).

El agua se puede describir de distintas formas por ello es necesario tener claro su significado para no cometer errores ni confusiones al momento de su uso, un ejemplo es la contaminación que genera condiciones que afectan al agua, dificultando poder consumirla para uso diario, este proceso incluye el ingreso de materiales tóxicos, sustancias perjudiciales y microorganismos causando efectos adversos para consumo humano (Chávez, 2016, p. 5).

El agua pura no es un término con significado para la naturaleza, ya que existen otros términos como agua potable, agua segura, ésta última representa confianza para el consumo ya que no demuestra riesgos para la salud humana o animal, sin embargo el agua potable proporciona seguridad desde el punto de vista químico, físico y biológico, siendo aprovechable para múltiples actividades (Chávez, 2016, p. 5).

2.3.5. Ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas pueden ser de dos tipos: marinos cuando se encuentran en aguas oceánicas, y dulceacuícolas si se presentan en aguas continentales en arroyos, ríos y lagos.

La vida de estos organismos acuáticos intervienen de manera directa en el intercambio de materia y energía que existe entre ellos así como de materiales disueltos y temperatura, influyendo los factores abióticos en su estabilidad ecosistémica (Guevara, 2018, p. 15).

Las aguas dulces permiten constituir el hábitat en donde viven y se desarrollan varios seres vivos que son dependientes del agua para poder alimentarse con las mínimas cantidades de sales disueltas. El gran conjunto de aguas continentales abarca diferentes tipos de sistemas como las aguas lénticas, aguas de charcas y pantanos, aguas lóxicas que recorren sus corrientes a través del río, riachuelos y manantiales, en el Ecuador la distribución de los ríos se caracteriza por su ubicación geográfica ya que posee gran biodiversidad de ecosistemas en zonas altas y bajas (Guevara, 2018, p. 15).

2.3.6. Efluente

El efluente hace referencia aquellas aguas servidas que contienen varios desechos entre ellos: sólidos, líquidos o gaseosos los cuales son emitidos por viviendas o industrias, por lo general los efluentes contienen grandes concentraciones de contaminantes que están asociados al escurrimiento causado por la lluvia (Montesinos, 2017, p. 73).

Los productos tóxicos que se encuentran en los efluentes pueden variar ya sea por su tipo o cantidad y por su composición de donde se generen, éstos efluentes se pueden originar por naturaleza química o biológica (Montesinos, 2017, p. 73).

2.3.7. Eutrofización

La eutrofización es un fenómeno de origen trópico que durante los últimos años a incrementado por consecuencia del crecimiento poblacional y el aumento de producción de residuos líquidos y sólidos, debido a ello el nivel de concentración de nutrientes al cuerpo de agua lénticas aumentan originando el deterioro al medio ambiente y en muchas ocasiones este proceso es irreversible (Rada, 2005, p. 5).

Se refiere al proceso natural que abastece gran cantidad de nutrientes de nitrógeno y fósforo al cuerpo de agua, permitiendo el crecimiento excesivo de microalgas causando la muerte de peces al aislarlos del oxígeno que requieren para poder vivir (Aranda, 2004, p. 6).

2.3.8. Especies invasoras

Las especies invasoras se caracterizan por causar problemas ambientales a nivel global, ya que algunas de estas especies tienen la capacidad de adaptarse ante nuevas condiciones y causar el desplazamiento de especies autóctonas del ecosistema y desencadenar alteraciones físico-químicas del hábitat (Ladrera, 2012, p. 29).

2.3.9. Monitoreo

El monitoreo es un proceso que permite analizar los cambios producidos en la salud de un río, consiste en poder determinar los cambios que surgen en el agua, los animales y el entorno que lo rodea, por una serie de observaciones y estudios, se pueden analizar las enfermedades y dar un adecuado tratamiento para remediarlo (Carrera y Fierro, 2001, p. 27).

2.3.10. Ríos

Los ríos presentan características fluctuantes, en donde se mantienen estables las comunidades de macroinvertebrados con pequeños cambios sutiles, al existir variaciones ambientales extremas se pueden registrar cambios en las comunidades que permiten determinar el grado de afectación al agua (Gil, 2014, p. 17).

Los ríos presentan gran complejidad a nivel mundial por sus amplios estudios ecológicos, hidrológicos, geomorfológicos y biogeoquímicos generando conocimientos de las características funcionales y estructurales que demuestran el orden de la estructura y funcionamiento de los mismos. Los ríos de montaña tropical recorren sus aguas superficiales a través de pendientes pronunciadas demostrando una gran diferencia cuando existe caudales de crecida y de estiaje (Gil, 2014, p. 17).

2.3.11. Taxonomía

La taxonomía de los macroinvertebrados está conformado por la disposición, número y forma que contienen las agallas, además del aparato bucal, su cabeza puede ser o no retractil, algunos poseen mandíbulas que funcionan en plano horizontal o vertical, otros tienen su cabeza fusionada con el tórax y contienen ojos compuestos (Gerardo, 2002, p. 5).

2.4. Base legal

2.4.1. Constitución de la República del Ecuador

2.4.1.1. Título II: Derechos

Art. 12: “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 29).

Art. 14: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 29).

2.4.1.2. Título VI: Régimen de desarrollo

Art. 276: Literal 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 al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 89).

Título VII: Régimen del buen vivir

2.4.2. Código Orgánico Ambiental

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 aguas” (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 182).

2.4.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

Art. 12: “Art. 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.”

Art. 57: “Definición: El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura.”

Art. 64: Conservación del agua: 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. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, 2014, p. 19).

2.4.4. Acuerdo Ministerial 097 A

Se refiere a la Norma de calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes, en él se han realizado modificaciones con respecto a la Ley de Gestión Ambiental y el Reglamento para la Ley de Gestión Ambiental, mismo que trata de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 7-8).

En éste acuerdo podemos determinar la conservación a los recursos hídricos, ya que establece principios básicos para el manejo de la contaminación del agua, criterios de calidad en sus diferentes usos, permisos para descargas, límites permisibles, disposiciones y prohibiciones hacia los sistemas de alcantarillado (Vélez, 2017, p. 7).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el tramo del río Tuna ubicado en la comunidad María Auxiliadora perteneciente al cantón Huamboya, el cual posee un área de 15 km², perteneciente a la provincia de Morona Santiago. El río nace de las faldas del volcán Sangay y desemboca en el río Pastaza (PDOT, 2014, p. 39).

3.2. Metodología

3.2.1. *Determinación de los puntos de monitoreo*

Para la determinación de las estaciones ubicadas en diferentes puntos del río se empleó la utilización del programa ArcGIS versión 10.6, junto a los datos obtenidos por medio de GPS fueron georreferenciados mediante el sistema de coordenadas UTM WGS 84.

Las estaciones que se consideraron para la toma de muestras en el río Tuna, se distribuyen de acuerdo a la distancia que comprende a la comunidad María Auxiliadora y a las posibles fuentes de descargas hacia el río que pueden alterar las condiciones por actividad antropogénica.

Por ello se consideraron los siguientes aspectos para su análisis:

- Fácil accesibilidad
- Sugerencia profesional
- Focos de contaminación
- Actividades antropogénicas al río

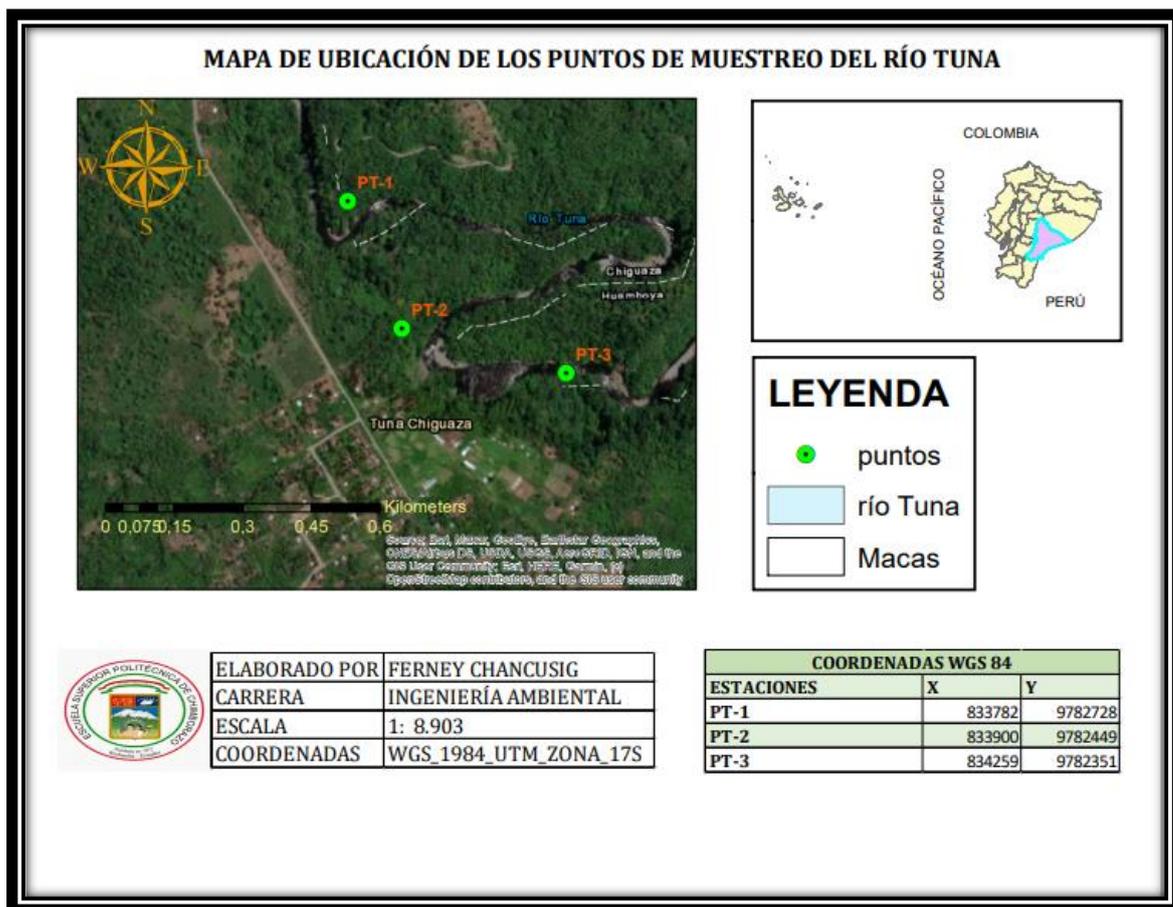


Figura 1-3: Ubicación geográfica y estaciones de monitoreo del río Tuna

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Tabla 1-3: Ubicación de los puntos de monitoreo

| Tramos de estudio | | | Zona 17 S, Coordenadas UTM WGS 84 | | |
|-------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|----------|---------|
| Código | Estaciones | Descripción | Altura (m.s.n.m) | Longitud | Latitud |
| PT-1 | Estación 1 | Zona intervenida | 1004 | 833782 | 9782728 |
| PT-2 | Estación 2 | Zona intervenida | 961 | 833900 | 9782449 |
| PT-3 | Estación 3 | Zona no intervenida | 932 | 834259 | 9782351 |

Fuente: Chancusig Ferney

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

3.3. Realización de monitoreos

Durante el tiempo que se realizó este estudio se emplearon 3 monitoreos, ejecutados en los meses de mayo, junio y julio del 2021. Estos monitoreos fueron tomados en días lluviosos y sus muestras

se recolectaron en el transcurso del día desde las 8:00 am hasta las 17:00 pm debido a la recolección de macroinvertebrados y los parámetros in situ tomados en el río, además mediante la realización de fichas de campo se registró las características físicas y condiciones ambientales que presentan las estaciones.

3.4. Valoración del Índice de Hábitat Fluvial

La valoración de este índice se la realizó durante cada mes considerando ciertos protocolos como indica (Prat et al, 2009, p. 20) (Pardo et al., 2002, p. 35).

3.5. Determinación del Índice de Hábitat Fluvial

Mediante un flexómetro se determinó un espacio de aproximadamente 100m de longitud, el cual está conformado por los aspectos físicos más representativos de cada estación. Para ello se procede a evaluar siete apartados como lo es: la inclusión en rápidos, frecuencia de rápidos, sedimentación en posas, regímenes de velocidad y profundidad, composición del sustrato, cobertura de vegetación acuática, elementos de heterogeneidad y porcentaje de sombra en el cauce. Una vez obtenido todos estos apartados se suman cada uno de los bloques para de esta manera obtener la calidad de hábitat de cada estación.

En la siguiente tabla se muestran los niveles para la calidad de IHF

Tabla 2-3: Niveles de calidad del Índice de Hábitat Fluvial

| Valor IHF | Nivel de Calidad | Color |
|-----------|------------------|-------|
| 71-100 | Muy buena | Azul |
| 51-71 | Buena | Verde |
| ≤ 50 | No llega a buena | Rojo |

Fuente: Francés Enrique, 2017, p. 7.

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

3.6. Determinación del índice WQI de la NSF

El índice WQI fue creado por la *National Sanitation Foundation* de EEUU en 1970, es una técnica que permite definir parámetros, subíndices, pesos ponderados y clasificarlos en por medio de cálculos como lo muestra la siguiente tabla (Meléndez et al, 2013, p. 98).

Tabla 3-3: Parámetros del índice WQI de la NSF

| Parámetros | Unidades | Factor de ponderación |
|-----------------------|-----------|-----------------------|
| Oxígeno Disuelto | % Sat | 0,17 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 0,16 |
| Ph | Unidades | 0,11 |
| DBO ₅ | mg/L | 0,11 |
| Cambio de temperatura | °C | 0,10 |
| Fosfatos | mg/L PO4 | 0,10 |
| Nitratos | mg/L NO3 | 0,10 |
| Turbidez | NTU | 0,08 |
| Sólidos totales | mg/L | 0,07 |
| Total | | 1 |

Fuente: Meléndez et al, 2013,p. 98.

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Tabla 4-3: Rangos para la calidad del agua mediante el índice WQI de la NSF

| Característica | Rango | Color |
|----------------|--------|-------|
| Excelente | 91-100 | |
| Buena | 71-90 | |
| Media | 51-70 | |
| Mala | 26-50 | |
| Muy mala | 0-25 | |

Fuente: Meléndez et al, 2013,p. 99.

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

3.7. Monitoreo de parámetros físico-químicos

Para la determinación de los parámetros físico-químicos se determinaron de manera insitu mediante un equipo multiparamétrico los datos de temperatura, pH, y oxígeno disuelto, previo a la obtención de las muestras se realizó la correcta limpieza y esterilización de instrumentos para que no exista alteración en los resultados. Se recolectaron 9 muestras de agua, 3 muestras mensuales que se realizaron de manera puntual para determinar las condiciones que posee cada una de las estaciones durante un periodo establecido.

3.7.1. Metodología

En las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3 se tomaron 3 muestras mensuales para cada estación, para luego proceder a su análisis mediante los parámetros WQI de la NSF, mismos que corresponden a pH, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, cambio de temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, turbidez, coliformes fecales, los parámetros que se determinaron de manera insitu fueron la temperatura, el pH.

Tabla 5-3: Procedimientos de recolección de muestras fisicoquímicas y microbiológicas

| Parámetro | Procedimiento | Envase recolector/equipo |
|---------------------|---|---|
| DBO ₅ | Se procede a homogeneizar los frascos varias veces, para posteriormente introducirlos a una determinada profundidad del cauce y llenarlo por completo, luego de ello se coloca la tapa y se retira el frasco. | Frasco de vidrio Ámbar de 1L |
| Temperatura | Mediante un termómetro digital se procedió a tomar la temperatura introduciéndolo en el centro del cauce del río, los valores obtenidos se registraron en una hoja de campo | |
| Coliformes fecales | Para la recolección de estas muestras se introdujo el frasco sin abrir la tapa al agua, luego de proceder a destapar y llenar para finalmente retirarlo. | Frasco de plástico esterilizado de 120 ml |
| Oxígeno disuelto | Para recolectar la muestra se procede a homogeneizar el recipiente y se coloca en contracorriente, una vez introducido el envase se procede a llenar sin dejar espacios de aire. | Frasco de vidrio de 1L (Pyrex) |
| pH | | |
| Fosfatos | | |
| Nitratos | | |
| STD | | |
| Turbidez | | |
| Macro invertebrados | Para la recolección de macro invertebrados se requiere el uso de una red y pinzas entomológicas para proceder a capturarlos y colocarlos en frascos esterilizados con alcohol. | Red tipo D-net |

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

3.8. Conservación de las muestras

Para la conservación de las muestras obtenidas en los puntos de monitoreo se procedió a colocar los envases con agua en un *cooler* para conservar la temperatura que se encuentra el agua, luego para la conservación de macroinvertebrados se colocó 50 ml de alcohol en vasos de plásticos

esterilizados para conservar el estado de los bioindicadores y ser analizados en el laboratorio de la sede ESPOCH Morona Santiago.

3.9. Análisis de los parámetros físico químicos en laboratorio

Los análisis de los parámetros físico químicos y microbiológicos se analizaron en el laboratorio de la sede ESPOCH, durante un tiempo aproximado desde las 2 pm hasta las 6 pm, la siguiente tabla demuestra cada uno de los métodos y técnicas que se utilizaron para obtener los resultados.

Tabla 6-3: Equipos y métodos para análisis microbiológicos y físico-químicos

| Parámetro | Método | Equipos | Instrumentos | Reactivos |
|--------------------|------------------------------|-------------------------|---|---|
| Turbidez | Turbidimétrico 2100 Q (HACH) | Turbidímetro | Celda de vidrio redonda | Agua destilada |
| Nitratos | Colorimétrico | espectrofotómetro | Celda cuadrada | HI3874-0 Nítrate Reagent |
| Fosfatos | Colorimétrico | espectrofotómetro | Celda cuadrada | HI3833-0 Phosphate Reagent |
| Sólidos disueltos | Secado | Horno de secado MEMMERT | Caja Petri de vidrio Balanza analítica SARTORIUS Probeta | Agua destilada |
| Coliformes fecales | Filtración | Incubadora REBELK R300 | Bomba de vacío ROCKER R300 NEOGEN filter Matraz Erlenmeyer | Cultivos |
| DBO ₅ | Oxítóp | Medidor de DBO WRW | Botella ámbar Balón de 432 ml Bureta Agitador WTW | Buffer 7 KH ₂ PO ₄ Sulfato de hidracina |

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Los parámetros como fosfatos, nitratos y turbidez fueron enviados a Riobamba para ser analizados en el laboratorio de la matriz ESPOCH.

3.10. Análisis de los datos de parámetros físico químicos y microbiológicos

Para determinar la calidad de agua de las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3 se utilizó el software IQADATA versión 2010 para interpretar los datos con respecto al WQI de la NSF, permitiendo de manera directa obtener el valor índice de cada uno de los 9 parámetros.

3.11. Muestreo de bioindicadores

En las tres estaciones se recolectaron 9 muestras de macro invertebrados durante los tres meses de estudio, tres muestras por cada mes, estos bioindicadores recolectados en el río Tuna se procedieron a capturarlos mediante protocolos (Tercedor et al, 2005, p. 25)(Carrera y Fierro, 2001, p. 60).

3.11.1. Metodología

Para recolectar los macro invertebrados, se determinó un espacio de aproximadamente 20 m de distancia en el que se empleó un tiempo de 60 min para cada estación, empezando desde el punto que se encuentra más elevado, en este caso el punto 1 continuando con los demás que proceden aguas abajo.

Tabla 7-3: Métodos para la recolección de bioindicadores bentónicos

| Tipo de hábitat y sustrato | Técnica de recolección | Tipos de red |
|---|---|------------------|
| Zonas lénticas o someras, con sustratos vadeables (grava, arena, fango, restos vegetales) | Se coloca la red en dirección contraria a la corriente, con la boca de la malla en el fondo del río y se procede a mover con las manos el sustrato para que los macrinvertebrados ingresen a la red | Red surber |
| Zonas de mayor diversidad posible , para fondos lodosos | Se coloca la red a la orilla del río en profundidades de hasta 1 m, se mueve la mano en forma de barrido sobre la vegetación y el fondo. | Red D-net |
| Zonas con vegetación sumergida y raíces visibles, lugares marginales vadeables. | Para su recolección se procede a colocar a lo largo de las orillas del río en donde existe abundancia de vegetación y raíces a través del lecho del río. | Colador metálico |

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

En esta ocasión se utilizó la red D-net colocándola en posición de 90° contraria a la corriente del río, y con la ayuda de la mano se remueven las rocas y sedimentos para que puedan salir los

macroinvertebrados y poder capturarlos, es importante observar lugares que presenten vegetación y sombra ya que en estos medios se encuentran abundantes bioindicadores.

3.12. Conservación de macroinvertebrados y limpieza de equipos

Obtenidos los diferentes tipos de bioindicadores se colocan en bandejas blancas para proceder a su correcta identificación, por medio de pinzas entomológicas se realiza la separación del sustrato con los especímenes, luego se colocan en frascos esterilizados con 100 ml de alcohol al 70% y se etiqueta cada una de las muestras para su posterior análisis.

3.13. Identificación de macroinvertebrados bentónicos

Para la identificación de los macroinvertebrados se procedió su traslado al laboratorio de la sede ESPOCH Morona Santiago para luego extraer cada uno de los especímenes y ser observados con la ayuda de un estereomicroscopio Motic de 7.5 x 50 de aumento, durante la identificación se tomó de referencia los niveles de familia de acuerdo a las claves taxonómicas que indica Roldan (2003).

3.14. Cálculo de índice BMWP/Col

El índice BMWP considera la sensibilidad que poseen las diferentes familias de macroinvertebrados ante los contaminantes presentes, distribuyéndose en 10 niveles con valores que oscilan entre el 1 al 10 representando valores máximos aquellas familias intolerantes a la pérdida de calidad de agua y valores mínimos a familias que presentan tolerancia baja.

A continuación, se muestra los puntajes para las familias de macroinvertebrados mediante el índice BMWP/Col.

Tabla 8-3: Puntajes de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

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

Fuente: Pérez Roldán, 2003, p. 31.

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Para el cálculo del índice BMWP/Col se realiza una matriz en la que se puedan ubicar cada una de las familias encontradas, el nivel de tolerancia de cada espécimen y el nivel que le corresponde, se repite el proceso en cada uno de los puntos de muestreo, luego se suman los valores de tolerancia como se representa a través de la siguiente ecuación:

$$BMWP/Col = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n$$

Donde:

T= nivel de tolerancia de cada familia

1, 2, 3...n: familias

Tabla 9-3: Rangos para la calidad del agua según el índice BMWP/Col

| CLASE | BMWP/Col | CALIDAD | COLOR | SIGNIFICADO |
|-------|---------------|-------------|--|----------------------------------|
| I | >105, 101-120 | Buena |  | Aguas muy limpias a limpias |
| II | 61-100 | Aceptable |  | Aguas ligeramente contaminadas |
| III | 36-60 | Dudoso |  | Aguas moderadamente contaminadas |
| IV | 16-35 | Crítica |  | Aguas muy contaminadas |
| V | >15 | Muy crítica |  | Aguas fuertemente contaminadas |

Fuente: Pérez Roldán, 2003, p. 32.

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de los puntos de monitoreo

4.1.1. PT- 1

Se encuentra ubicado cerca del puente que permite acceder a la comunidad, es el primer punto de estudio que se seleccionó con la finalidad de obtener resultados a través de la actividad antropogénica que se realiza en esta zona del río, en sus alrededores se pueden observar abundante vegetación y montañas que se encuentran intervenidas por la actividad humana, posee gran cantidad de material pétreo que impiden el flujo normal de su cauce.



Figura 1-4: Estación PT-1 del río Tuna

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

4.1.2. PT-2

Se encuentra ubicado a las orillas del centro de la población cerca de la escuela que pertenece a la comunidad María Auxiliadora, el cual es utilizado para recreación y lavado de ropa por los habitantes del sector, esta estación es la más indispensable para determinar la calidad del agua y si existe descarga de efluentes al recurso hídrico.



Figura 2-4: Estación PT-2 del río Tuna

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

4.1.3. PT-3

Está situado a las afueras de la comunidad, presenta residuos sólidos debido al arrastre de la corriente del río y las actividades que se generan en la estación 2, en este punto existe gran cantidad de presencia arbórea con poca actividad antropogénica. Se localiza aguas abajo presentando características de buen estado y un flujo variado de corrientes, debido a su poca accesibilidad en esta parte del río.



Figura 3-4: Estación PT-3 del río Tuna

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Tabla 1-4: Resultados del índice de Hábitat Fluvial (IHF)

| Puntos de monitoreo | Mayo | Junio | Julio | Promedio | Nivel de calidad | Color |
|---------------------|------|-------|-------|----------|------------------|-------|
| PT-1 | 68 | 70 | 65 | 67,7 | BUENA | |
| PT-2 | 70 | 72 | 68 | 70 | BUENA | |
| PT-3 | 68 | 65 | 69 | 67,3 | BUENA | |

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

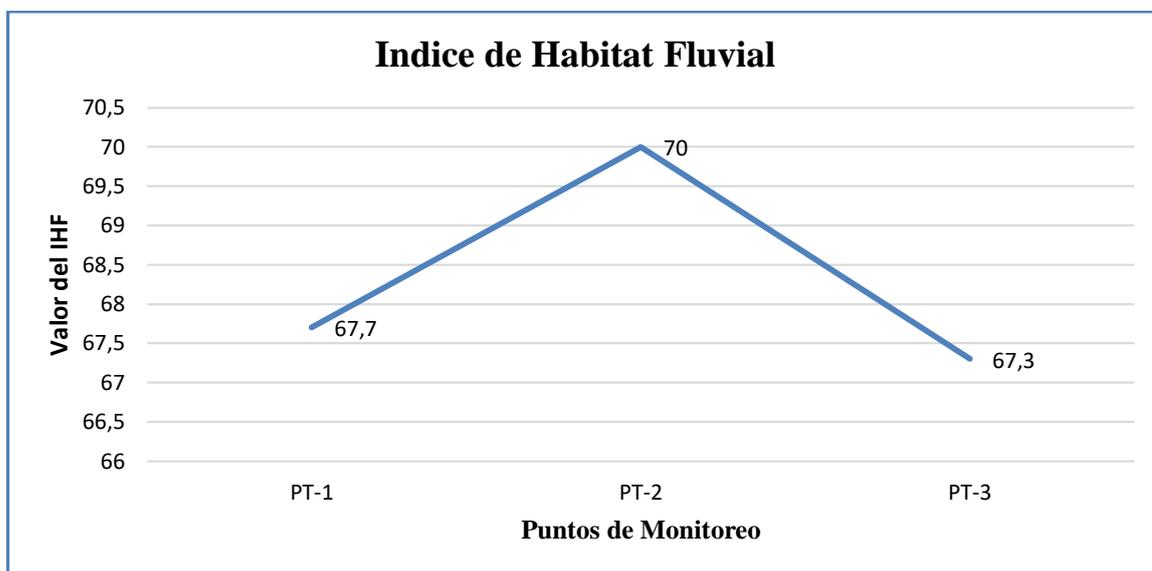


Gráfico 1-4: Variación del Hábitat Fluvial para las estaciones de monitoreo

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

En la Tabla 1-4: se muestran los resultados de las tres estaciones, de manera que el PT-2 demuestra el valor más alto de 70, con un nivel de calidad buena del agua, mientras que el valor de menor calidad se refleja en el PT-3 con un valor de 67,3, representando de igual manera una calidad buena para la tercera estación.

Las estaciones PT-1 y PT-2 tienen altos niveles con respecto a la frecuencia de rápidos, presentan una alta composición del sustrato en bloques y piedras, bajos porcentajes de sombra en el cauce, mientras que el PT-3 presenta una escasa frecuencia de rápidos, una baja composición del sustrato de gravas y presenta mayor cobertura de vegetación acuática, las tres estaciones muestran un índice de hábitat fluvial regular debido a los bajos porcentajes de sombra y elementos de heterogeneidad presentes en el cauce.

En los meses de mayo y junio los valores de frecuencia de rápidos, régimen de velocidad/profundidad aumentaron en todas las estaciones, debido a las constantes lluvias producidas en la zona, mientras que en los demás apartados no hubo cambios significativos.

4.2. Resultados para la valoración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los parámetros fisicoquímicos influyen directamente en los cuerpos hídricos superficiales, debido a que presentan capacidades para modificar las sustancias presentes en el agua, representando un factor perjudicial para la salud del ser humano y ecosistemas en los cuales se encuentran establecidos.

4.2.1. pH

El pH es la concentración de iones de hidrógeno que permiten determinar la presencia de toxicidad provenientes de compuestos químicos y alterar condiciones de hábitats acuáticos (Rodríguez, 2009, p. 127).

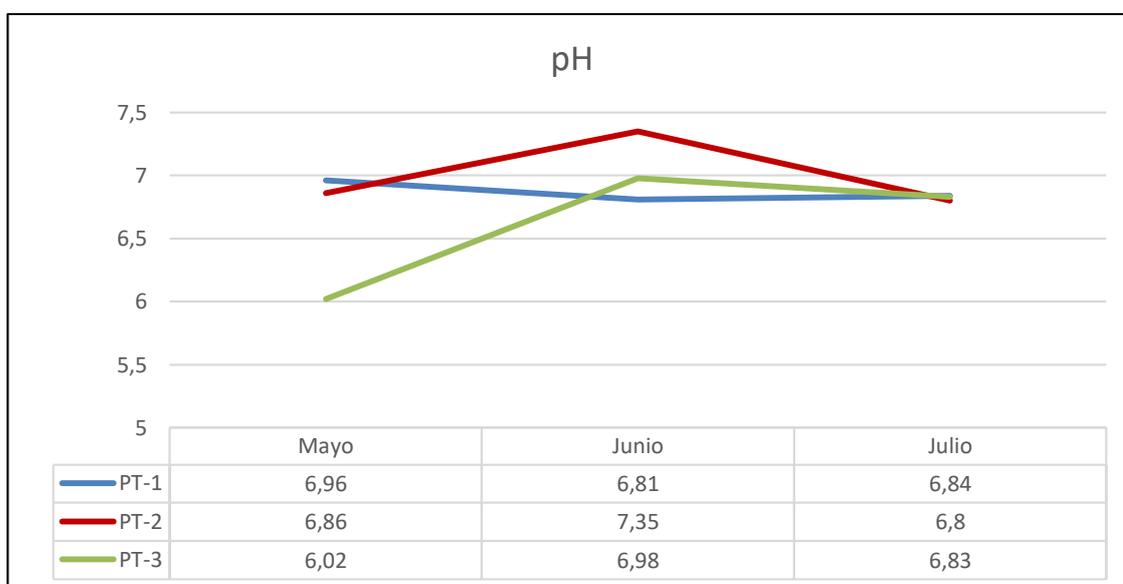


Gráfico 2-4: Valoración de las tres estaciones durante los meses de monitoreo

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

En el gráfico 2-4 se puede observar que el valor más bajo de pH corresponde al PT-3 en el mes de mayo con un valor de 6,02, incrementando el siguiente mes en 6,98. Además podemos registrar el pH más alto en PT-1 con un valor de 6,96 y conforme se realizó el segundo muestreo disminuye a 6,71, el promedio más alto entre las tres estaciones se puede observar un pH de 7, indicando que los valores de pH se encuentran en el rango permitido de la tabla 1 de “Criterios de calidad de aguas para consumo humano y doméstico” que corresponden entre 6,5 y 9.

Los 3 pH demuestran variaciones poco significativas, cuyos valores tienen influencia con la geoquímica del suelo que posee el cauce, y la descomposición de materia orgánica proveniente de los desechos domésticos (Portilla, 2015, p. 68).

4.2.2. Temperatura

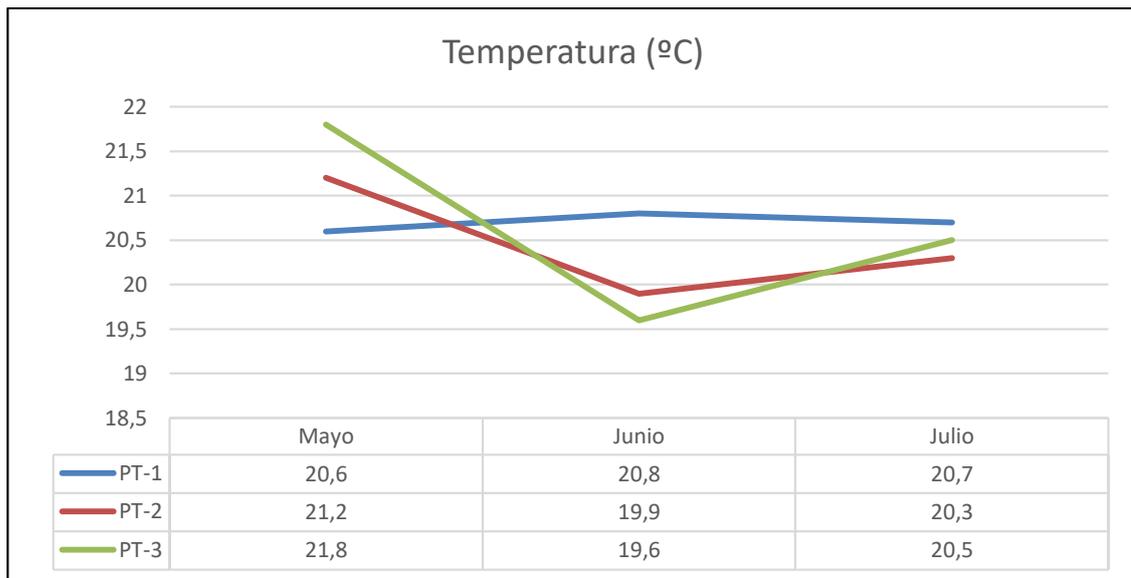


Gráfico 3-4: Variación de las temperaturas de las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Según el gráfico 3-4, en las estaciones PT-2 y PT-3 se registran las temperaturas más altas en el mes de mayo con 21,2°C y 21,8°C, mientras que las temperaturas más bajas se presentan en el mes de junio con 19,9°C y 19,6°C respectivamente, cuyos promedios son de 20,5°C y 20,6°C para cada una de las estaciones

Los cambios de temperatura presentan variaciones por algunos factores presentes en el cauce como lo son: temperatura ambiente, profundidad del cauce y la hora en que se tomó la muestra, cuando ésta aumenta, disminuye la cantidad de oxígeno presente en el agua.

4.2.3. Oxígeno Disuelto

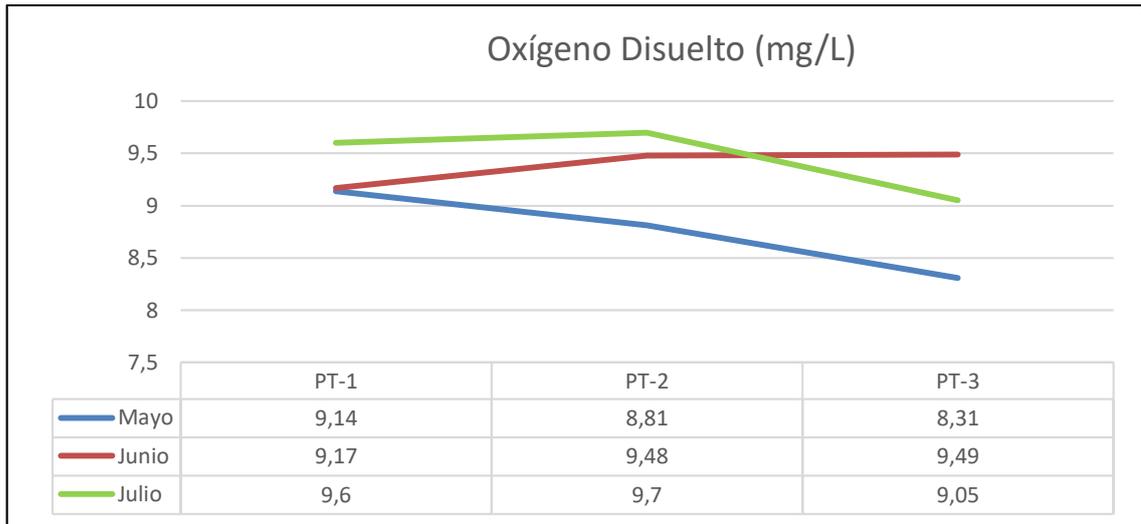


Gráfico 4-4: Variación del OD en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Los resultados de OD en las estaciones PT-2 y PT-3 en el mes de mayo presentan bajas concentraciones de 8,81 y 8,31, mientras que en el mes de junio su concentración de OD aumenta a 9,48 y 9,49 respectivamente, demostrando un valor promedio en el PT-2 de 9,33 y 8,95 para la estación PT-3, mientras que la estación PT-1 muestra valores ascendentes desde 9,14 en el primer monitoreo hasta que alcanza una concentración de 9,6 en el último monitoreo, registrando un valor promedio de 9,30.

En el gráfico 4-4 se puede observar los valores de las concentraciones de OD que muestran variaciones en cada una de las estaciones, estos cambios pueden darse por factores ambientales como la temperatura del agua, vegetación, altitud, además por actividades antropogénicas, represamiento de cauce o descargas de aguas residuales (Jiménez y Velez, 2006, p. 62).

4.2.4. Sólidos totales disueltos

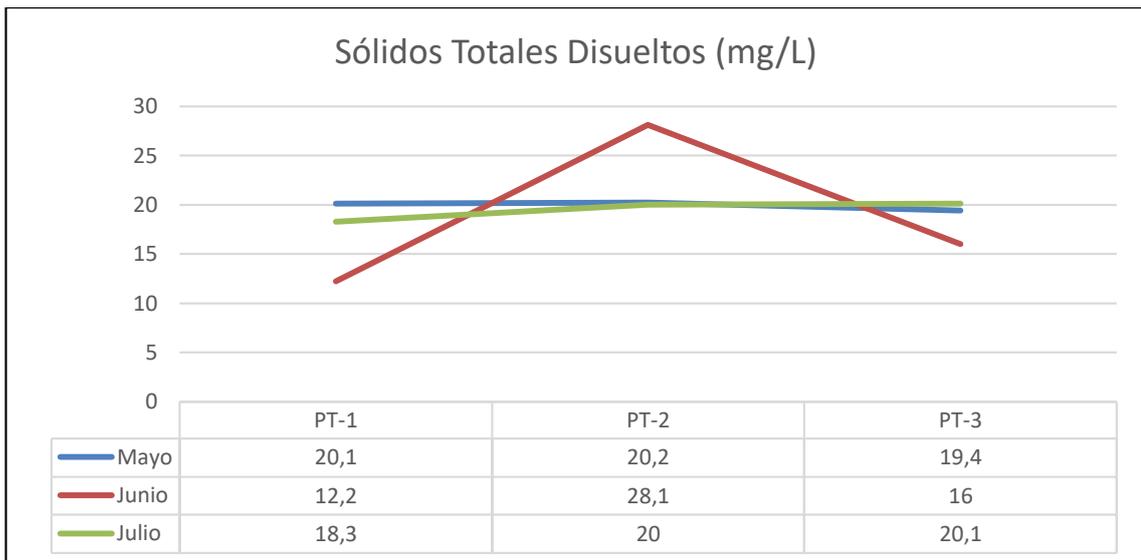


Gráfico 5-4: Variación de los STD en las tres estaciones durante el monitoreo

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

Los valores de STD más altos se registran en el PT-2 del mes de junio con un valor de 28,1, el cual disminuye su valor a 20 en el siguiente mes, mostrando un valor promedio de 22,8, y el valor más bajo de STD se presencia en el PT-1 del mes de junio con un valor de 12,2, mientras que en el mes de mayo se registra su valor más alto de 20,1, dando un promedio de 16,9. El PT-3 registra un valor bajo de STD para el mes de junio, aumentando su valor en el mes de julio de 20,1, obteniendo de esta manera un valor medio de 18,5, los valores de éste parámetro se encuentran establecidos por la normativa del Acuerdo Ministerial 097.

En el gráfico 5-4 se puede observar variaciones entre las tres estaciones de forma espacial, debido a que la presencia de sólidos está directamente relacionada a la erosión que existe en el terreno ocasionada por las precipitaciones y a la descomposición de materia orgánica (Arroyo y Encalada, 2009, p. 12).

4.2.5. Turbidez

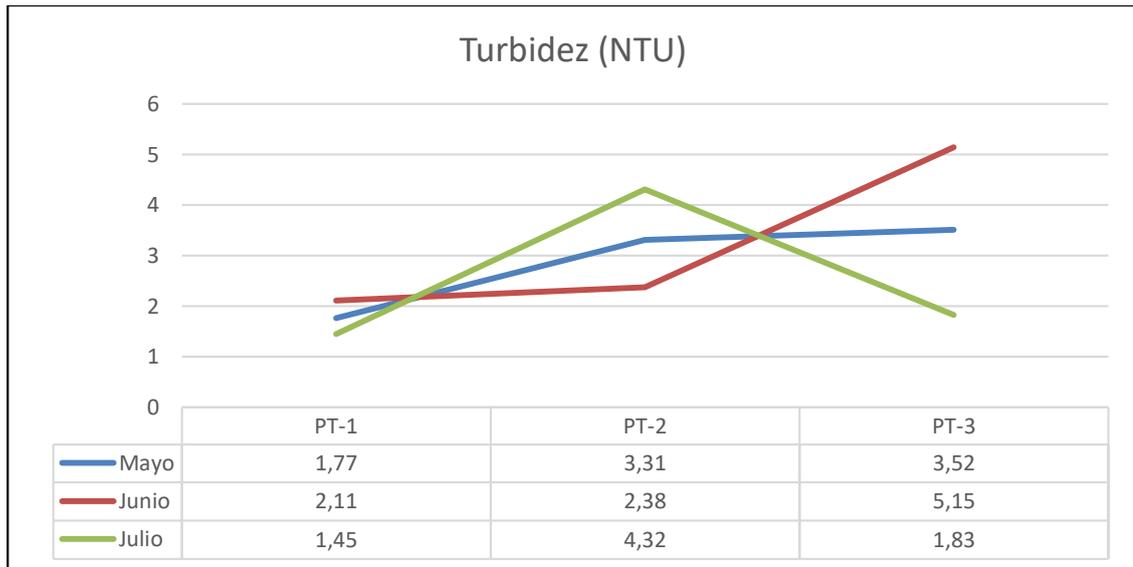


Gráfico 6-4: Valoración de la turbidez en las tres estaciones de estudio

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

En el gráfico 6-4, se puede observar que en la estación PT-3 existe la concentración más alta de 5,15 NTU en el mes de junio, pero disminuye en el mes julio con un valor de 1,83 NTU, dando un valor promedio de 3,5 NTU, mientras que la concentración más baja se presenta en el PT-1 de 1,45 NTU en el mes de julio, por otro lado, su valor asciende en el mes de junio a 2,11 NTU, generando un promedio de 1,8 NTU. El PT-2 presenta pequeñas fluctuaciones dando un valor intermedio entre las tres estaciones de 3,3 NTU.

4.2.6. DBO

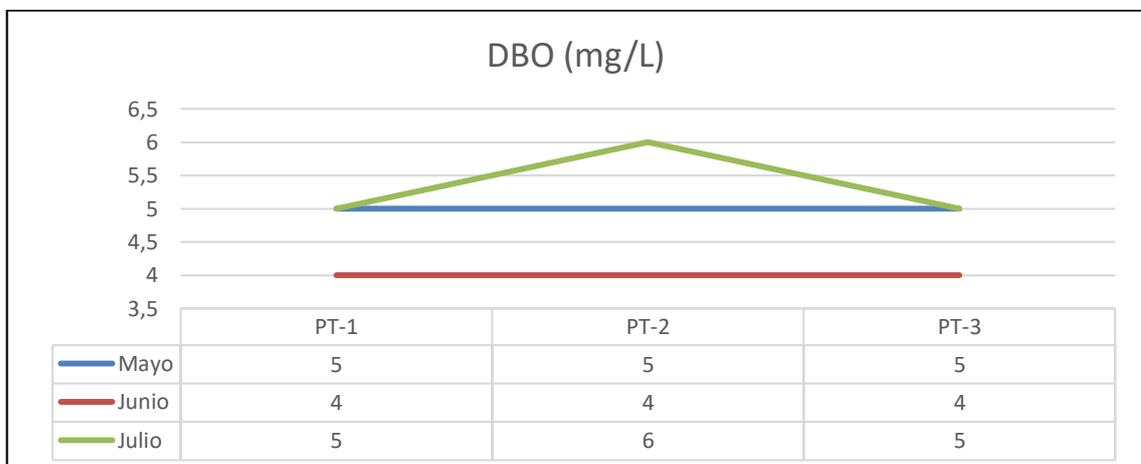


Gráfico 7-4: Valoración de la DBO en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

En el gráfico 7-4 se muestran los valores de concentración de la DBO₅ en las distintas estaciones del tramo del río Tuna, los valores más bajos se registraron en el mes de junio con valores de 4 en cada uno de los puntos, indicando la existencia de mayor pureza en el agua, mientras que el valor más alto presenta el mes de julio en la estación 2 con un valor de 6 provocado por las actividades antropogénicas causadas al afluyente y por el arrastre de materia orgánica ocasionadas por las constantes precipitaciones.

4.2.7. Nitratos

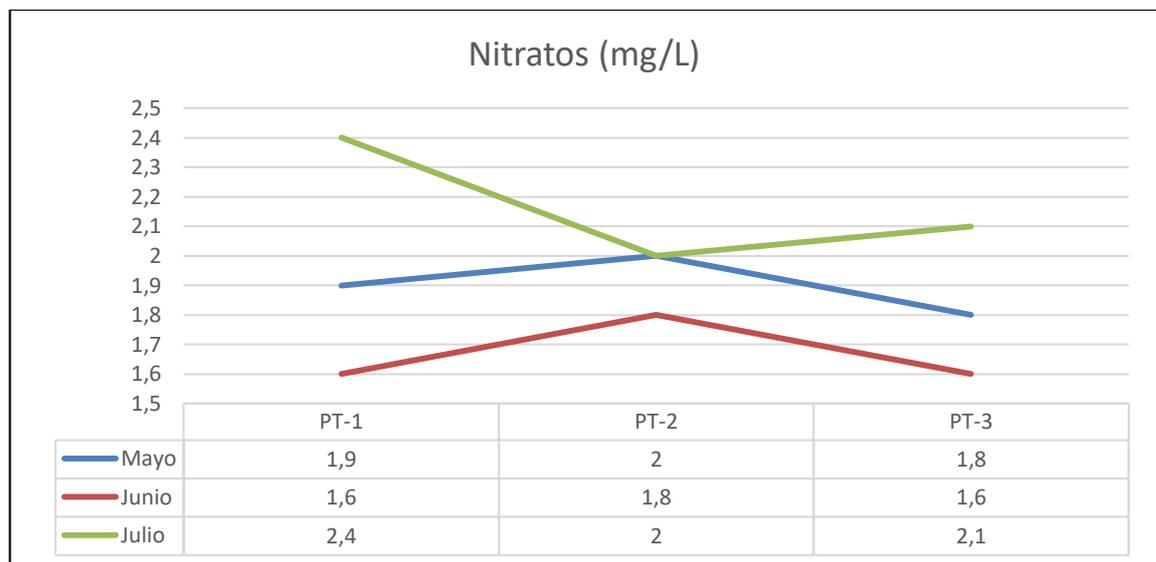


Gráfico 8-4: Valoración de los nitratos en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

En el gráfico 8-4 se puede observar las concentraciones de nitrato en cada una de las estaciones, en donde se registran los valores más bajos durante el mes de junio con un valor de 1,6mg/L en la estación 1 y la estación 3, mientras que las concentraciones más altas de nitratos se muestran en el mes de julio con un valor de 2,4mg/L, este valor puede estar relacionado a las actividades antropogénicas que se dan en la ribera del río como el uso de detergentes, descargas de aguas residuales y desechos de animales.

4.2.8. Fosfatos

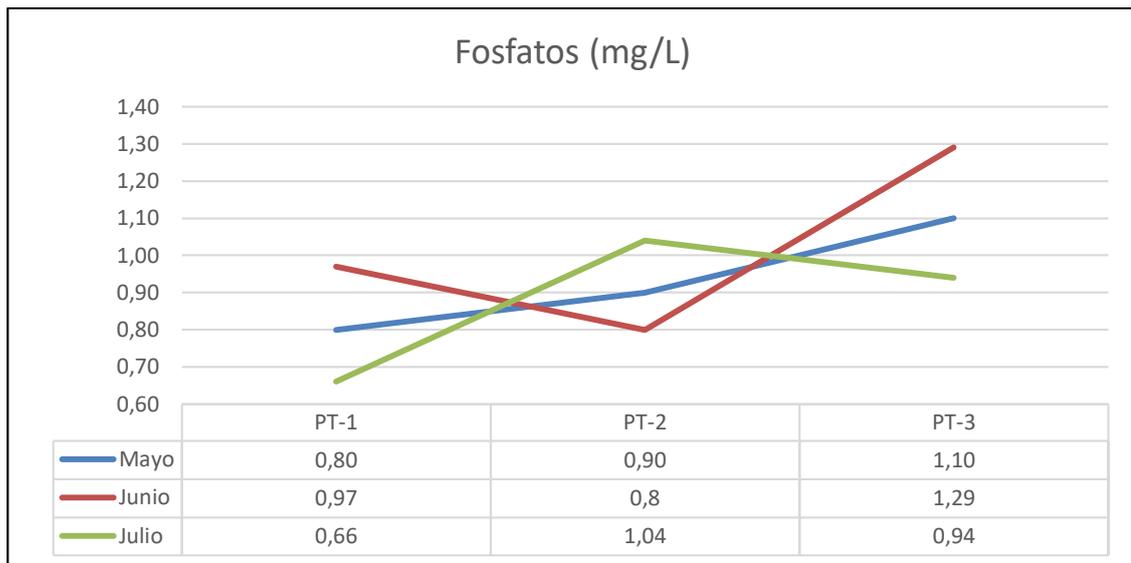


Gráfico 9-4: Valoración de los fosfatos en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-3

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

El gráfico 9-4 representa las concentraciones de fosfatos en cada una de las estaciones, presentando la concentración más baja durante el mes de julio en el PT-1 con un valor de 0,66mg/L, mientras que en la estación PT-3 del mes de junio se registra la concentración más alta de 1,29mg/L, por otro lado, se encuentra el mes de mayo en donde se registra valores crecientes en cada una de las estaciones dando un valor promedio de 0,81 mg/L.

4.3. Resultados del ICA según la NSF

Tabla 2-4: Resultados del ICA, estaciones PT-1, PT-2 y PT-3, mes de mayo, junio y julio

| ICA – May/2021 | | | | | WQI – Jun/2021 | | | WQI – Jul/2021 | | |
|---------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Parámetros | Unidades | PT-1 | PT-2 | PT-3 | PT-1 | PT-2 | PT-3 | PT-1 | PT-2 | PT-3 |
| | | Resultados |
| Oxígeno Disuelto | % Sat. | 114,5 | 110,6 | 104,3 | 114,4 | 116,3 | 115,7 | 119,6 | 119,9 | 116,8 |
| Temperatura (Tr-Ti) | °C | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 1 | 1,3 | 1,6 | 0,5 | 0,9 | 0,5 |
| DBO | mg/L | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 5 |
| Colif. fecales | NMP/100ml | 333 | 131 | 251 | 1400 | 1600 | 1500 | 100 | 258 | 453 |
| Nitratos | mg/L | 1,9 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 2,4 | 2 | 2,1 |
| Fosfatos | mg/L | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 0,97 | 0,8 | 1,29 | 0,66 | 1,04 | 0,94 |
| pH | | 6,96 | 6,86 | 6,02 | 6,71 | 7,35 | 6,98 | 6,84 | 6,80 | 6,83 |
| Turbidez | NTU | 1,77 | 3,31 | 3,52 | 2,11 | 2,38 | 5,15 | 1,45 | 4,32 | 1,83 |
| STD | mg/L | 20,10 | 20,2 | 19,4 | 12,2 | 28,1 | 16 | 18,3 | 20 | 20,1 |
| Valor del Índice | | 62,90 | 64,31 | 59,33 | 58,52 | 59 | 56,84 | 64,83 | 60 | 60,27 |
| Clasificación | | REGULAR |

Realizado por: Chancusig Ferney, 2021.

La tabla 10-4 muestra los resultados obtenidos del ICA (NSF) para cada una de las estaciones durante los meses de mayo, junio y julio, en donde se representan valores regulares de calidad del agua para el PT-1, PT-2 y PT-3 respectivamente, el mes de mayo presenta valores de 62,90, 64,31 y 59,33 demostrando el puntaje más alto en la estación PT-2, siendo los fosfatos los parámetros que más influyen en la calidad del agua con valores crecientes debido a las actividades antropogénicas generadas en el cauce, mientras que para el mes de junio se registran valores de 58,52, 59 y 56,84, siendo el PT-2 la estación que posee el puntaje más alto indicando una calidad de agua regular, en donde los coliformes fecales son los parámetros con mayor influencia para la calidad del agua, por otro lado durante el mes de julio se observan valores de 64,83, 60 y 60,27 correspondiendo el puntaje máximo a la estación PT-1, los valores de los nitratos para cada una de las estaciones se encuentran dentro del límite permisible del Acuerdo Ministerial 097, ya que no superan los 10 mg/L

Los valores de la DBO_5 que presenta cada una de las estaciones impiden que la calidad del agua tenga una excelente calidad debido a que los valores sobrepasan a lo establecido en el “Criterio de Calidad de Fuentes de agua para consumo humano y doméstico” el mismo que debe ser < 2 mg/L, estos valores están relacionados a la presencia de actividad agrícola y ganadera, que por medio de la escorrentía superficial y las constantes precipitaciones permite la presencia de grandes cantidades de materia orgánica originando elevadas concentraciones de la DBO_5 .

Tabla 3-4: Datos del índice BMWP/Col para las tres estaciones durante el monitoreo

| Estaciones | | | May/PT-1 | Jun/PT-1 | Jul/PT-1 | May/PT-2 | Jun/PT-2 | Jul/PT-2 | May/PT-3 | Jun/PT-3 | Jul/PT-3 |
|------------------|-------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Nº | Familia | Orden | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col | BMWP/Col |
| 1 | Naucoridae | Hemiptera | 7 | 7 | | | | 7 | 7 | | |
| 2 | Ptilodactylidae | Coleóptera | 10 | 10 | | 10 | 10 | | 10 | | |
| 3 | Chironomidae | Diptera | 2 | | | | | | | | |
| 4 | Elmidae | Coleóptera | 6 | 6 | | | 6 | | 6 | | 6 |
| 5 | Leptophlebiidae | Ephemeroptero | 9 | 9 | | 9 | 9 | 9 | | 9 | 9 |
| 6 | Dryopidae | Coleóptera | 7 | | 7 | | | | | | |
| 7 | Baetidae | Ephemeroptero | 7 | | 7 | 7 | 7 | | 7 | 7 | 7 |
| 8 | Leptohyphidae | Ephemeroptero | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | | | 7 |
| 9 | Leptoceridae | Trichoptero | 8 | 8 | | | | | 8 | | |
| 10 | Oligoneuriidae | Ephemeroptero | 10 | 10 | 10 | | | | | 10 | |
| 11 | Hydropsychidae | Trichoptero | | 7 | 7 | | | 7 | | 7 | |
| 12 | Perlidae | Plecóptera | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 13 | Xiphocentronidae | Trichoptero | | 9 | | 9 | | | | | 9 |
| 14 | Hebridae | Hemiptera | | | 8 | | | | | 8 | |
| 15 | Tipulidae | Diptera | | | 3 | | | | | | |
| 16 | Polycentropodidae | Trichoptero | | | 9 | | | 9 | | | 9 |
| 17 | Psephenidae | Coleóptera | | | | 10 | 10 | | 10 | | 10 |
| 18 | Belostomatidae | Hemiptera | | | | | 5 | | | | 5 |
| 19 | Lutrochidae | Coleóptera | | | | | | 10 | | | |
| 20 | Blephariceridae | Diptera | | | | | | | 10 | | |
| 21 | Hydrometridae | Hemiptera | | | | | | | 4 | | |
| 22 | Gerridae | Hemiptera | | | | | | | | 8 | |
| 23 | Stratiomyidae | Diptera | | | | | | | | 4 | |
| Valor total | | | 73 | 83 | 68 | 62 | 64 | 59 | 72 | 63 | 72 |
| Calidad del agua | | | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE | DUDOSA | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |

Realizado por: Chancusig Ferney, 2021.

La tabla 11-4 indica la valoración de cada uno de los macroinvertebrados encontrados durante el periodo de monitoreo en las tres estaciones, registrando valores similares debido a que algunos bioindicadores se repiten entre las estaciones, y otros se encuentran muy escasos, en la primera estación tenemos una valoración de 73, 83 y 68 lo que indica una calidad de agua ACEPTABLE durante los tres meses de monitoreo, en la segunda estación se puede observar una valoración de 62 y 64 para los meses de mayo y junio obteniendo una calidad de agua ACEPTABLE, mientras que en el mes de julio muestra un valor de 59 obteniendo una calidad de agua DUDOSA, causada por las actividades antropogénicas presentes en el cauce que provocan la ausencia de ciertos tipos de macroinvertebrados, por otro lado la estación PT-3 demuestra valores de 72 y 63 respectivamente, indicando una calidad de agua ACEPTABLE para los tres meses de estudio. La calidad de agua que presentan las tres estaciones en promedio resulta ACEPTABLE debido a la presencia de bioindicadores que poseen altas valoraciones como los *Ptilodactylidae*, *Leptophlebiidae* y los *Perlidae* que mediante estudios científicos se les ha asignado un número a cada macroinvertebrado el cual indica su sensibilidad a los contaminantes, siendo éstos muy sensibles a los contaminantes, además se encuentran los que aceptan pocos contaminantes con valoraciones regulares como los *Belostomatidae* y *Elmidae* y los bioindicadores que aceptan muy pocos contaminantes como los *Baetidae*, *Leptohyphidae* y *Leptoceridae*, aquellos macroinvertebrados que tienen valoraciones altas por lo general se encuentran en aguas muy limpias y cristalinas (Carrera y Fierro, 2001, p. 30).

4.4. Comparación entre los índices BMWP/Col y WQI (NSF)

Tabla 4-4: Análisis comparativo entre los índices BMWP/Col y WQI (NSF)

| Variables | Estaciones | | |
|-----------|------------|-----------|-----------|
| | PT-1 | PT-2 | PT-3 |
| BMWP/Col | ACEPTABLE | ACEPTABLE | ACEPTABLE |
| WQI (NSF) | REGULAR | REGULAR | REGULAR |

Realizado por: Chancusig, Ferney, 2021.

El índice WQI (NSF) representa una calidad de agua REGULAR durante las tres estaciones de monitoreo, estos resultados tienen influencia mediante parámetros físico-químicos y muestras insitu y exsitu que reflejan los cambios producidos durante ese lapso de tiempo que se tomó las muestras de agua, mismas que pueden estar alteradas por factores antropogénicos o difusos, originando de esta manera una calidad de agua temporal que mediante la determinación de 9 parámetros establecidos en el Índice de Calidad del Agua se puede apreciar dichos resultados, sin embargo la valoración del índice BMWP/Col demuestra una calidad de agua ACEPTABLE en

sus tres estaciones, debido a la presencia de macroinvertebrados bentónicos relacionando un análisis espacio- temporal por el hábitat de estos bioindicadores que a través del tiempo se van incluyendo o ausentando en el recurso hídrico dependiendo del nivel de contaminación al que se encuentre el afluente.

Estos índices varían debido a que en la determinación de macroinvertebrados existe gran influencia de familias con valoraciones altas como los *Ptilodactylidae* y *leptophlebiidae* permitiendo obtener valores entre un rango de 61 a 100 generando una calidad de agua ACEPTABLE ya que se relacionan a los bioindicadores presentes en el cauce, los mismos que representan poca sensibilidad ante los contaminantes, mientras que el índice WQI (NSF) representa una calidad de agua REGULAR en cada uno de sus puntos por las actividades antropogénicas causadas al río como descargas de aguas residuales, arrastre de materia orgánica por las constantes precipitaciones y la descomposición de materia orgánica proveniente de animales que mediante los resultados obtenidos en el software IQAData se puede evidenciar los altos contenidos de DBO₅ y coliformes fecales presentes en el cauce, determinando así una gran variabilidad entre ambos índices

CONCLUSIONES

- Se determinó la calidad del agua mediante el índice BMWP/Col en las tres estaciones de la comunidad María Auxiliadora generando una calidad ACEPTABLE en las estaciones PT-1 y PT-3 durante los tres meses de estudio, mientras que la estación PT-2 se registró una calidad de agua DUDOSA en el mes de julio, a diferencia de los meses de mayo y julio que presentó una calidad de agua ACEPTABLE.
- Se establecieron los puntos de monitoreo en cada una de las estaciones del tramo de la comunidad María Auxiliadora considerando aspectos de accesibilidad, focos de contaminación y actividades antropogénicas existentes en el afluente, además se analizaron sus coordenadas con la ayuda de GPS y el software ArcGIS.
- Se evaluaron las tres estaciones mediante el Índice de Hábitat Fluvial registrando una calidad BUENA en el PT-1, PT-2 y PT-3 durante los meses de mayo, junio y julio demostrando una similitud con respecto a factores de heterogeneidad, escasa frecuencia de rápidos y baja composición del sustrato en el río Tuna.
- Se determinó los resultados de calidad del agua a través del índice WQI (NSF) demostrando una calidad de agua REGULAR para cada una de las estaciones durante los tres meses de estudio, basándose en 9 parámetros físico-químicos y microbiológicos a través de análisis in situ y ex situ en cada una de las estaciones del río.
- Se realizó la comparación entre los índices BMWP/Col y WQI (NSF), donde se observó una gran diferencia en sus calidades de agua ya que el índice BMWP/Col muestra una calidad de agua ACEPTABLE en cada una de las estaciones durante los tres meses de estudio a través de la valoración de macroinvertebrados por lo que la presencia de estos bioindicadores representa datos espacio- temporales que influyen en la biodiversidad existente del cauce, mientras que el índice de la WQI (NSF) representa una calidad de agua REGULAR en todas las estaciones influenciada por parámetros que permiten analizar los factores presentes por actividades antropogénicas al afluente, así como la ubicación de cada uno de los puntos que se encuentran en zonas altas, medias y bajas lo que permite determinar las variaciones de DBO5 y STD, asociadas a escorrentías superficiales, descargas de materia orgánica permitiendo obtener un análisis únicamente del día en que fue tomada la muestra.
- Durante el periodo de monitoreo se identificaron 23 familias de macroinvertebrados bentónicos conformando las familias más representativas los Ptilodactylidae, Perlidae, Psephenidae y Leptophlebiidae que permitieron dar las valoraciones más altas en cada una de las estaciones para poder obtener una calidad de agua ACEPTABLE.

RECOMENDACIONES

- Ejecutar estudios fisicoquímicos y microbiológicos en la microcuenca del río Tuna, tomando en cuenta la zona alta, media y baja que atraviesa el afluente para obtener información acerca de los cambios y actividades que se realizan en el recurso hídrico.
- Implementar un plan de gestión para conservar la microcuenca del río Tuna, a través de factores ecosistémicos, físico-químicos y bioindicadores, que puedan preservar sus bosques ya que sirven de amortiguadores ante las actividades agrícolas y ganaderas que generan impactos ambientales.
- El Gobierno Autónomo descentralizado de la Parroquia Huamboya deberá realizar la implementación de sistemas de alcantarillado y la creación de una planta de tratamiento de aguas residuales para la población de la comunidad María Auxiliadora, ya que mediante las fuentes puntuales de contaminación se evidencia la presencia de descargas de aguas residuales y pozos sépticos al cauce.
- Desarrollar campañas de capacitación y concientización al poblado de la comunidad María Auxiliadora, con el objetivo de enseñar acerca de los cambios y consecuencias que pueden causar las actividades antropogénicas al recurso hídrico, además de la protección y cuidado del agua.
- Socialización a los dueños de fincas y terrenos que se encuentran en las riberas del río, para incentivar y promover las zonas de amortiguamiento del cauce, realizando actividades de reforestación de especies nativas que se encuentran a sus alrededores.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA, Nancy. Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universitat de Barcelona, España. 2004.pp. 5-6. [Consulta: 2021-04-20]. Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/35296/1/TESISNANCY.pdf>

ARAUJO NAVAS, Andrea Lucía, & CABRERA TORRES, Francisco Dario. Propuesta de un plan de manejo integral de la cuenca del Río Casacay en el Cantón Pasaje, Provincia de El Oro mediante la Utilización de herramientas SIG (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPE, Sangolquí, Ecuador. 2009.pp. 9-10. [Consulta: 2021-04-21]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1012/1/T-ESPE-026607.pdf>

ARROYO, Carolina & ENCALADA, Andrea, 2009. Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina Montano, 1(1), 11–16. DOI 10.18272/aci.v1i1.4.

BRAVO, Luis, SALDAÑA, Pilar, IZURIETA, Jorge & MIJANGOS, Marco, 2013. La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo. Recuperado de: https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/noticias_principales/contaminacion_difusa/contaminacion.pdf

CARCELÉN, Michele. Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua potable del cantón Palora, provincia de Morona Santiago (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Epoch, Ecuador. 2017.pp. 74-75. [Consulta: 2021-04-21]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/6409/1/56T00694.pdf>

CARRERA, Carlos & FIERRO, Karol. *Los macroinvertebrados acuáticos.* [en línea]. Texas, USA: Ecociencia, 2001. [Consulta: 2021-04-21]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>

CHARCOPA, Carlos & CONDO, Karen. “Análisis de la utilización de materiales alternativos en la remoción de sólidos totales presentes en el agua cruda” (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPOL, Guayaquil, Ecuador. 2015.pp. 35-36. [Consulta: 2021-04-21]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89386/D-70099.pdf>

CHÁVEZ, Jhoanna. Determinación de la calidad del agua del río Maguazo por medio del

método wqi en el periodo abril a junio del 2016 (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 10-11. [Consulta: 2021-04-22]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6229/1/236T0238.pdf>

CIRELLI, Alicia. El agua: un recurso esencial. *Quimica Viva* [en línea], 2012, (Argentina) 11(3), pp. 1-2. [Consulta: 2021-04-23]. ISSN 1666-7948. Disponible en: <https://www.redalyc.org/artículo.oa?id=86325090002>

COELLO, Julio, ORMAZA, Rosa, DÉLEY, Ángel, RECALDE, Celso & RIOS, Anita. Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocha-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *RIIGEO* [en línea], 2013, (Ecuador) 16(31), p. 66–71. [Consulta: 2021-04-24]. ISSN 1682-3087. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>

CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. Constitución de la República del Ecuador 2008. Lexis [en línea], 2008, (Ecuador) 2(1), p. 29-30. [Consulta: 2021-04-25]. ISSN 1390-1249. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

CREEK, Ayurá & RAMIREZ, Nestor, 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente* [en línea], 2013, (Colombia) 16(1), pp. 97–107. [Consulta: 2021-04-26]. ISSN 0124-177X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/artículo.oa?id=169427489003>

CRIOLLO, Mercy. Evaluación de la calidad del agua, en un tramo de la microcuenca del río Quebrada, cantón Morona utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPOCH, Morona Santiago, Ecuador. 2018. pp. 15-16. [Consulta: 2021-04-30]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10560/1/236T0418.PDF>

DA ROS, Giuseppina,. *La contaminación de aguas en Ecuador.* [en línea]. Quito, Ecuador: Editorial Abya Yala, 1995. [Consulta: 2021-05-01]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/La_contaminaci%C3%B3n_de_aguas_en_Ecuador.html?id=rPQrAHRxzyYC

DUARTE, Oscar. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Scielo* [en línea], 2018, (Colombia) 66(1), pp. 2-3. [Consulta: 2021-05-02]. ISSN 0120-0011. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>

DUCHITANGA, Mónica. Determinación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la microcuenca del río Guanganza chico de la provincia de Morona Santiago (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPOCH, Morona Santiago, Ecuador.2019. pp. 15-16. [Consulta: 2021-05-04]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10594/1/236T0425.pdf>

ESPINOZA, Alexander. Caracterización preliminar de dos microcuencas en el cantón Zaruma (Ecuador) y elaboración de propuestas de seguimiento de la calidad del agua (Trabajo de titulación) (Maestría) [en línea]. Universitat Politècnica de Valencia, España. 2015. pp. 32-33. [Consulta: 2021-05-05]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/64348>

ESPINOZA, Edward. Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual domestica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. 2017. pp. 20-21. [Consulta: 2021-05-06]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6776/espinoza_za.pdf

FERNÁNDEZ, Luis, KULICH, Elena & GUTIÉRREZ, Carlos. "Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador". *SciELO* [en línea], 2017, (Ecuador) 38(3), pp. 20-21. [Consulta: 2021-05-08] ISSN 1680-0338. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382017000300004&script=sci_arttext&tlng=pt

FRANCÉS, Enrique. Análisis del estado ecológico de ríos de la cuenca del alto Guadalquivir, a través del estudio de parámetros de hábitat fluvial, vegetación de ribera y macroinvertebrados (Trabajo de titulación) (Maestría) [en línea]. Universidad de Jaén, España. 2017. pp. 7-8. [Consulta: 2021-05-09] .Disponible en:///C:/Users/Usuario/Downloads/Análisis del Estado Ecológico de Ríos del Alto Guadalquivir_VF.pdf

GERARDO, Carlos. *Guía Principales órdenes de Macroinvertebrados.* [en línea], Medellín, Colombia: Editorial Universidad Antioquía, 2002. [Consulta: 2021-05-15]. Disponible en: http://artemisa.unicauca.edu.co/~gerardorengifo/RH2/Guia_Macroinvertebrados.pdf

GIL, Julie. Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri* [en línea]. 2014, (Colombia) 2(1), pp. 17-18. [Consulta: 2021-05-19]. ISSN 0852-3681. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12>

GUEVARA, Carla. Evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados en el tramo Padre Carollo-Paus de la microcuenca hidrográfica del río blanco, Morona Santiago (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Epoch, Morona Santiago, Ecuador. 2018. pp. 15-16. [Consulta: 2021-05-20]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/8765/1/33T0187.pdf>

HANSON, Paul, SPRINGER, Monika & RAMIRAZ, Alonso. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Scielo* [en línea], 2010, (Costa Rica) 58(4), pp. 2-3. [Consulta: 2021-05-22]. ISSN 0034-7744. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-774420100008000012010

HEREDIA, Milton. "Los recursos naturales y el manejo de cuencas hidrográficas". *ECA* [en línea], 2015, (Ecuador) 60(684), pp. 1-2. [Consulta: 2021-05-24]. ISSN 1000-1002. Disponible en: <http://doi.org/10.51378/eca.v60i684.5195>

JIMÉNEZ, Mario & VELEZ, María. Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Redalyc* [en línea], 2006, (Colombia) 14(1), pp. 53-69. [Consulta: 2021-05-26]. ISSN 1349-1349. Disponible en: https://dx.doi.10.1007/978-3-642-41714-6_198951

LADRERA, Rubén. "Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos". *Dialnet* [en línea], 2012, (España) 39(39), pp. 29-30. [Consulta: 2021-05-29]. ISSN 1577-7960. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4015812.pdf>

MENDOZA, Cinthia. Aplicación del índice de calidad de agua en las albarradas del recinto sancáncomuna sancán-Manabí (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad de Guayaquil, Ecuador. 2019. p. 58. [Consulta: 2021-06-01]. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39660/1/Tesis_VF_Cinthy_a_M_Mendoza_Ch_abr2019.pdf

MINISTERIO DEL AMBIENTE. "Acuerdo Ministerial 097-A". *Libro VI, Anexo 4* [en línea], 2015, (Ecuador) 1(2), p. 184. [Consulta: 2021-06-02]. ISSN 1121-8360. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>

MOLINA, Adrina. *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades.* [en línea]. Quito, Ecuador: IANAS, 2019. [Consulta: 2021-06-05]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/335686525>

MONTESINOS, Mayra. Caracterización de efluentes de mina para elección de la alternativa óptima de tratamiento (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú. 2017. p. 73. [Consulta: 2021-06-07]: Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7885.pdf>

PARDO, Isabel, CASAS, Jesús & MORENO, Luis. El hábitat de los ríos mediterráneos, diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnética* [en línea], 2002, (España) 21(3), pp. 115-133. [Consulta: 2021-06-10] ISSN 0115-0133. Disponible en: <https://doi.org/10.23818/limn.21.21>

PDOT. PDOT Huamboya. [en línea]. PDOT, Ecuador 2014. pp. 42-44. [Consulta: 2021-06-15] Disponible en: file:///C:/Users/USER/Desktop/OCTAVO/1460001180001/pdot_GADcantonalHuamboya.pdf

PÉREZ, Gabriel. Bioindicadores de la calidad del agua en Colombia [en línea]. Gobierno de Colombia 2003. pp. 15-29. [Consulta: 2021-06-17] Disponible en: <https://minalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/calidad-del-agua-inca-2017.pdf>

PÉREZ, Josue. Determinación de la calidad del agua, en la microcuenca Zaruma Urcu mediante la aplicación de un índice de calidad de agua (ICA) (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad de Guayaquil, Ecuador. 2020. pp. [Consulta: 2021-06-20]. Disponible en : [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/49923/1/Tesis Josue Cevallos Perez.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/49923/1/Tesis%20Josue%20Cevallos%20Perez.pdf)

PORTILLA, Natalia. Distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Cascajosa - Garzón (Huila). *Entornos* [en línea], 2015, (Colombia) 28(1), pp. 56–75. [Consulta: 2021-06-25]. ISSN 1224-3712. Disponible en: <file:///C:/Users/PC-HP/Downloads/1224-3712-1-PB.pdf>

PRAT, N, FORTUÑO, P & RIERADEVALL, María. *Manual d'utilització de l'índex d'hàbitat fluvial (IHF)* [en línea]. Barcelona, España: Diputació de Barcelona, 2009. [Consulta: 2021-06-29]. Disponible en: https://llibreria.diba.cat/es/libro/manual-d-utilitzacio-de-l-index-d-habitat-fluvial-ihf_46316

RADA, Francisco. "Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia)". *Scielo* [en línea], 2005, (Bolivia) 4(1), p. 5. [Consulta: 2021-07-01]. ISSN 1726-2216. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/rea.v4i1-2.308>

RODRÍGUEZ, Manuel. "Biología y Geología". *Cenoposiciones* [en línea], 2009, (España) 7(6), p. 23. [Consulta: 2021-07-05]. ISSN 2311-7791. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/263925744>

RODRÍGUEZ ZAMORA., Johel, 2009. "Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS)". *Revista Pensamiento Actual* [en línea], 2009, (Costa Rica) 9(12), pp. 125–134. [Consulta: 2021-07-07]. ISSN 1409-0112. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/2842>

ROMERO, Bartolo, GAPARI, Fernanda, VAGARÍA, Alfonso, GONZÁLEZ, Fatima & LÓPEZ, Jorge, 2015. "Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México". *Investigación y ciencia* [en línea], 2015, (México) 64(26), p. 26. [Consulta: 2021-07-10]. ISSN 1091-6678. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/66784/Documento_completo___pdf?sequence=1&isAllowed=y

SALAZAR, Karla. Determinación de la calidad de agua mediante el uso de diatomeas bentónicas en el tramo Padre Carollo-Paus, del río Blanco. parroquia río Blanco, cantón Morona, provincia de Morona Santiago (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Epoch, Riobamba, Ecuador, 2018. p. 18. [Consulta: 2021-07-15]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/10558/1/236T0417.pdf>

SALAZAR, Luis. Análisis de la calidad de agua del río jerusalen afluente del río Pedro Carbo - Guayas para uso agrícola (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Agraria del Ecuador, Guayas, Ecuador, 2020. p. 22. [Consulta: 2021-07-20]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SALAZAR HOLGUIN LUIS FAUTINIANO.pdf>

SÁNCHEZ, Alcides & TELLO, Lenin. "La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador". *Visión contable* [en línea], 2019, (Ecuador) 19(1), pp. 64–101. [Consulta: 2021-07-25]. ISSN 2539-0104. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.24142/rvc.n19a4>.

SÁNCHEZ, Marjorie. "El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander". *Bistua* [en línea], 2005, (Colombia) 3(2), pp. 54–67. [Consulta: 2021-07-30]. ISSN 0120-4211. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/903/90330207>

SECRETARÍA DEL AGUA. "Ley Orgánica de Recursos Hídricos". *Lexis* [en línea], 2014, (Ecuador) 1(2), pp. 68-69. [Consulta: 2021-08-01]. ISSN 2014-1178. Disponible en: <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12114/6232014>

TERCEDOR, Alba & ORTEGA, Sánchez. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de hellawell (1978). *Limnética* [en línea], 1978, (España) 4(1), pp. 51–66. [Consulta: 2021-08-05]. ISSN 0051-0066. Disponible en: <http://doi.org/10.23818/limn.04.06>

VÉLEZ, Katherine. Evaluación de la calidad del agua del río Copueno, tramo Paccha- jardín del Upano, mediante macroinvertebrados bentónicos (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPOCH, Morona Santiago, Ecuador. 2017. pp. 16-17. [Consulta: 2021-08-09]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8538/1/236T0319.pdf>

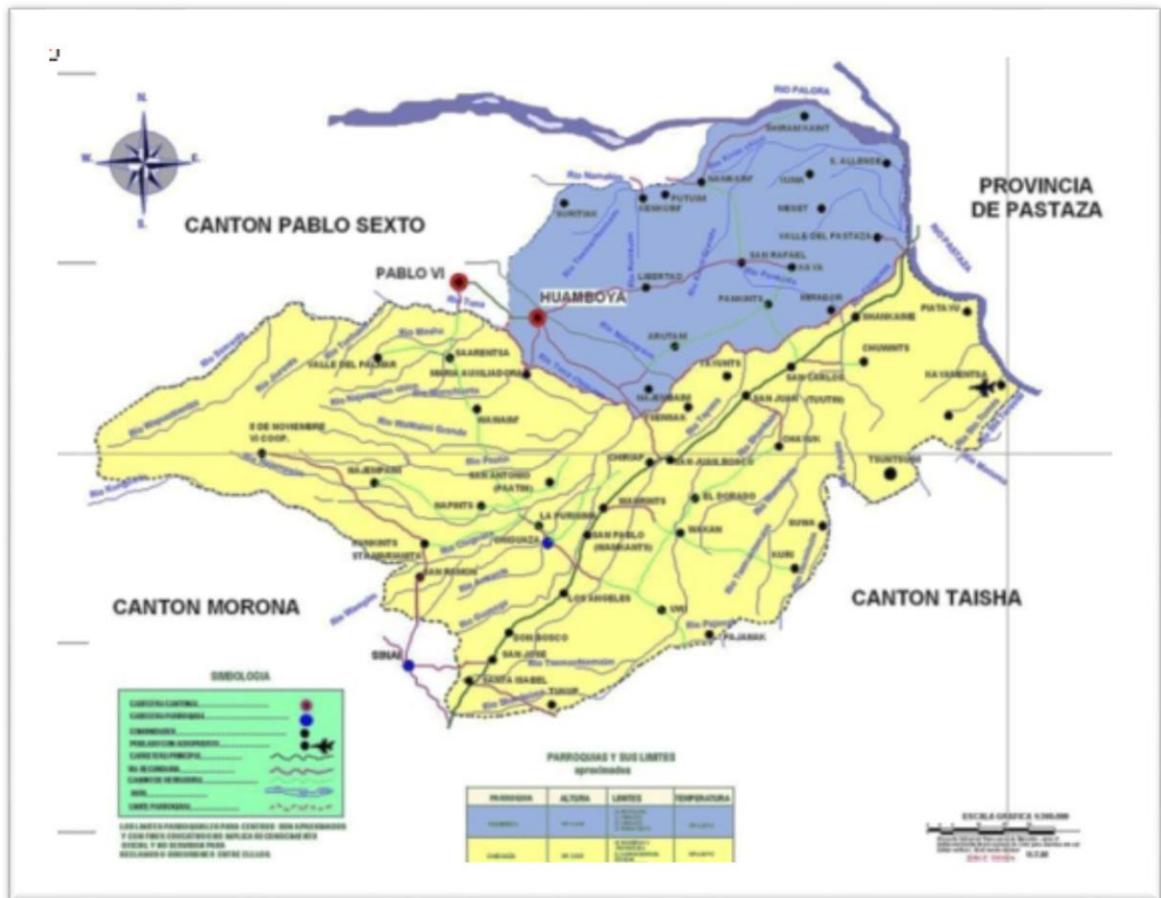
ZAMBRANO, Jose. Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2010. pp 7-14. [Consulta: 2021-08-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/579/1/13T0660.pdf>

ZAMBRANO, Patricio, LOGROÑO, Jessica & VINUEZA, Ximena. "Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona". *Dialnet* [en línea], 2020, (Ecuador) 6(2), pp.734-746. [Consulta: 2021-08-20]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1245>, 734-746.

ZAMORA, Johel. "Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre". *Pensamiento Actual* [en línea], 2009, (Costa Rica) 9(12), pp. 127-128. [Consulta: 2021-08-22]. ISSN 1409-0112. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/2842/2764>

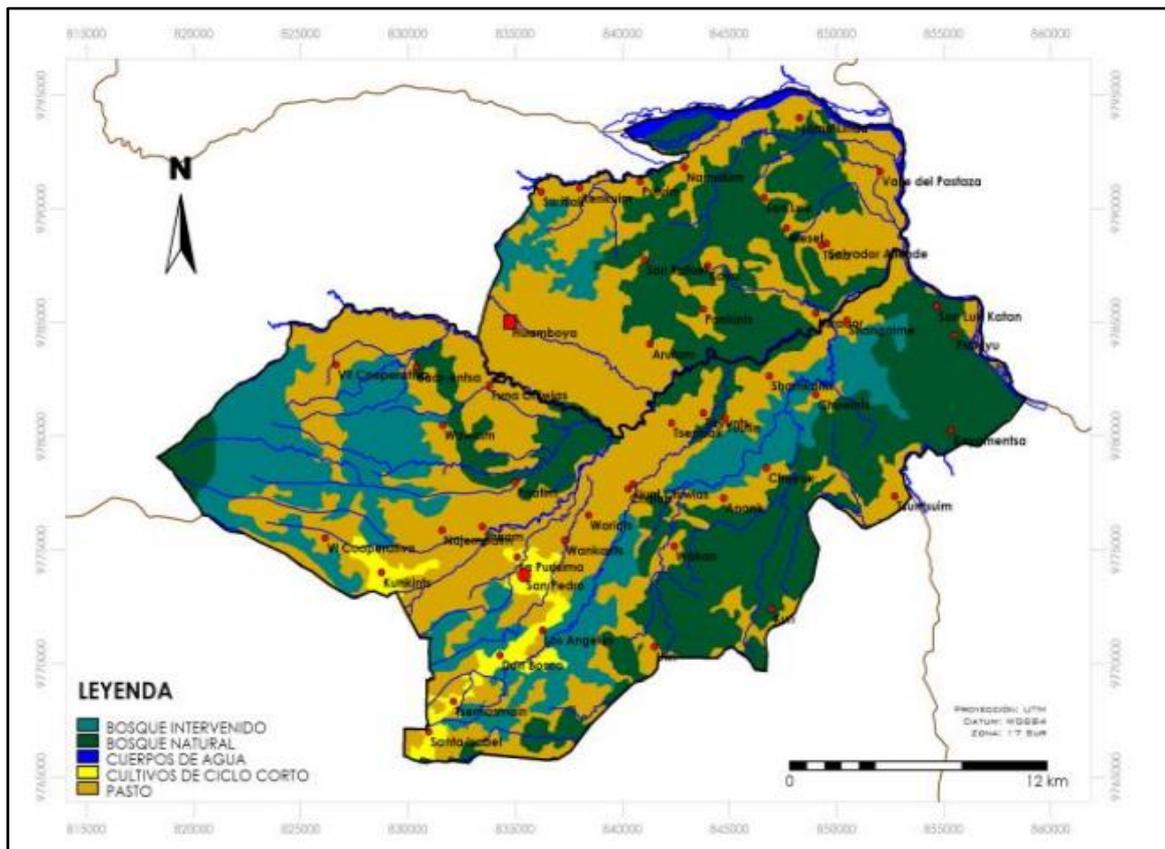
ANEXOS

ANEXO A: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PARROQUIA HUAMBOYA



Fuente: PDOT Huamboya, 2014, p. 18.

ANEXO B: MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y CUERPOS DE AGUA DE LA PARROQUIA HUAMBOYA EN 2014



Fuente: PDOT Huamboya, 2014, p. 15.

**ANEXO C: ESTACIONES DE MONITOREO, COMUNIDAD MARÍA AUXILIADORA A)
PT-1; B) PT-2 Y C) PT-3**



a



b



c

**ANEXO D: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS FÍSICO-QUÍMICAS Y
MACROINVERTEBRADOS**



Toma de muestra de agua PT-1



Toma de muestra de agua PT-2



Toma de muestra de agua PT-3



Recolección de macroinvertebrados



Separación de sustrato y bioindicadores



Uso de la red D-net

ANEXO E: ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS



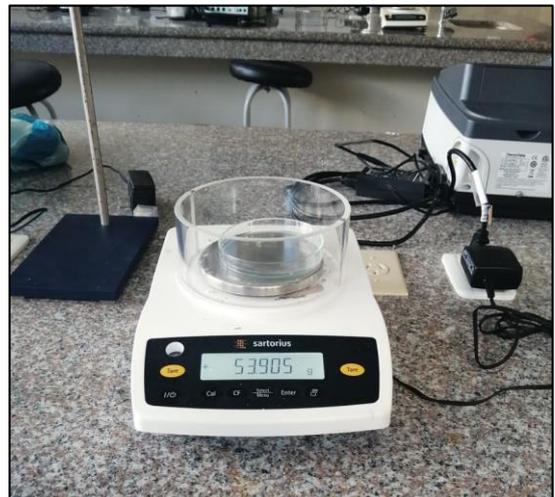
Análisis de Oxígeno Disuelto



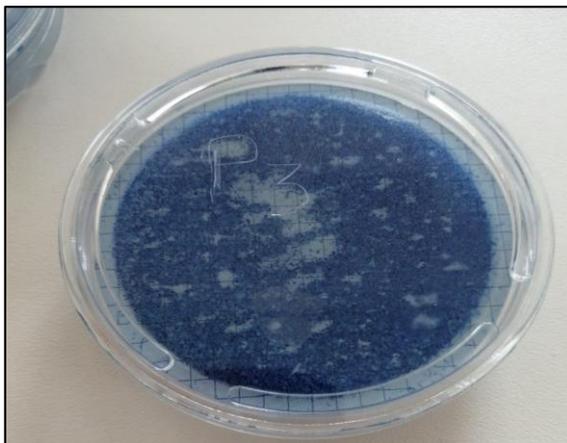
Análisis de pH



Análisis de DBO₅



Determinación de SDT



Colonias de coliformes fecales



Envases para la toma de muestras



Observación de macroinvertebrados

ANEXO F: RESULTADOS DE TURBIDEZ, FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS ESTACIONES PT-1, PT-2 Y PT-3



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 18 de junio del 2021
Análisis solicitado por: Sr. Ferney Chancusig
Tipo de muestras: Agua superficial Río Tuna
Localidad: Cantón Macas

Análisis Químico

| DETERMINACIONES | RESULTADOS | | | |
|-----------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Unidades | Muestra P.1 | Muestra P.2 | Muestra P.3 |
| Nitratos | mg/L | 1.6 | 1.8 | 1.6 |
| Fosfatos | mg/L | 0.97 | 0.80 | 1.29 |
| Turbiedad | UTN | 2.11 | 2.38 | 5.15 |

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.


SAQMIC Servicio de Análisis Químicos y Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez
Telf.: 2 924 322 // Cel.: 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



Contáctanos: 0998580374 - 032924417
Av. 11 de ~~Noviembre~~, y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 15 de julio del 2021
Análisis solicitado por: Sr. Ferny Chancusig
Tipo de muestras: Agua superficial Río Tuna
Localidad: Cantón Macas

Análisis Químico

| DETERMINACIONES | RESULTADOS | | | | |
|-----------------|------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Unidades | Método de análisis | Muestra P.1 | Muestra P.2 | Muestra P.3 |
| Nitratos | mg/L | 4500-N-E | 2.4 | 2.0 | 2.1 |
| Fosfatos | mg/L | 4500-P-D | 0.66 | 1.04 | 0.94 |
| Turbiedad | UTN | 2130-B | 1.45 | 4.32 | 1.83 |

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.

SAQMIC Servicio de Análisis
Químicos y
Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez
Telf.: 2 924 322 // Cel.: 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

ANEXO G: TABLA DE VALORACIÓN DEL ÍNDICE DE HÁBITAT FLUVIAL

HOJA DE CAMPO: Evaluación del Hábitat Fluvial para Ríos Mediterráneos. Índice IHF

| | |
|-------------------|------|
| Punto de muestreo | |
| Fecha | Hora |
| Observador | |

| Bloques | Puntuación |
|---------|------------|
|---------|------------|

1. Inclusión en rápidos-sedimentación en pozas

| | | | |
|-------------------|--|----|-----------------------|
| Rápidos | Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%. | 10 | |
| | Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%. | 5 | |
| | Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión > 60%. | 0 | |
| Solo pozas | Sedimentación 0 - 30% | 10 | |
| | Sedimentación 30 - 60% | 5 | |
| | Sedimentación > 60% | 0 | |
| | | | TOTAL (una categoría) |

2. Frecuencia de rápidos

| | | |
|---|----|-----------------------|
| Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7 | 10 | |
| Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15 | 8 | |
| Presencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25 | 6 | |
| Constancia de flujo laminar o rápidos escasos. Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25 | 4 | |
| Solo pozas | 2 | |
| | | TOTAL (una categoría) |

3. Composición del sustrato

| | | | |
|---------------------|---------|---|-----------------------|
| % Bloques y piedras | 1 - 10% | 2 | |
| | > 10% | 5 | |
| % Cantos y gravas | 1 - 10% | 2 | |
| | > 10% 5 | 5 | |
| % Arena | 1 - 10% | 2 | |
| | > 10% | 5 | |
| % Limo y arcilla | 1 - 10% | 2 | |
| | > 10% | 5 | |
| | | | TOTAL (una categoría) |

TOTAL (una categoría)

4. Regímenes de velocidad / profundidad

somero: < 0.5 m 10

lento: < 0.3 m/s

| | | |
|--|----|--|
| 4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero. | 10 | |
| Sólo 3 de las 4 categorías | 8 | |
| Sólo 2 de las 4 | 6 | |
| Sólo 1 de las cuatro | 4 | |

TOTAL (una categoría)

5. Porcentaje de sombra en el cauce

| | | |
|------------------------|----|--|
| Sombreado con ventanas | 10 | |
| Totalmente en sombra | 7 | |
| Grandes claros | 5 | |
| Expuesto | 3 | |

TOTAL (una categoría)

6. Elementos heterogeneidad

| | | | |
|------------------------------|-----------------|----|--|
| Hojasasca | > 10% ó < 75% | 10 | |
| | 1 - 10% ó > 75% | | |
| Presencia de troncos y ramas | 7 | | |
| Raíces expuestas | 5 | | |
| Diques naturales | 3 | | |

TOTAL (una categoría)

7. Cobertura de vegetación acuática

| | | | |
|--------------------------|-----------------|----|--|
| % Plocon + briófitos | 10 - 50% | 10 | |
| | 1 - 10% ó > 50% | 5 | |
| % Pecton | 10 - 50% | 10 | |
| | 1 - 10% ó > 50% | 5 | |
| % Fanerógamas + Charales | 10 - 50% | 10 | |
| | 1 - 10% ó > 50% | 5 | |

TOTAL (una categoría)

PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)

La puntuación de cada uno de los apartados no puede exceder la expresada en la siguiente tabla:

| | |
|---|----|
| Inclusión rápidos - sedimentación pozas | 10 |
| Frecuencia de rápidos | 10 |
| Composición del sustrato | 20 |

| | |
|----------------------------------|----|
| Régimen velocidad / profundidad | 10 |
| Porcentaje de sombra en el cauce | 10 |
| Elementos de heterogeneidad | 10 |
| Cobertura de vegetación acuática | 30 |

Fuente: Duchitanga, 2019, p. 23.

ANEXO H: BIOINDICADORES REPRESENTATIVOS EN EL TRAMO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TUNA



Elmidae



Baetidae



Ptilodactylidae



Psephenidae



Hydropsychidae



Leptophlebiidae



Naucoridae



Leptohiphidae



Xiphocentronidae



Gerridae

ANEXO I: RESULTADOS DE ÍNDICE DE LA WQI (NSF) EN EL SOFTWARE IQADATA

IQAData - [Registro de Muestras]

Sistema Registro Movimiento Herramientas Ventanas Sobre

Salida Usuarios ICA Muestras Análisis Curva ABC Ayuda

Datos

Código: Ciudad: Condiciones climáticas: Cuenca Hidrográfica:

Cuerpo Hídrico: Altitud (metros): Fecha: 19/ 8 /2021 Hora: 13:00

Local: Coordenadas (Long., Lat.) (Formato: gg.dddddd) Ejemplo: -50.820400

Observación:

| Código | Variable | Unidad | Valor |
|--------|-----------------------------------|-------------------|-------|
| 100 | Temperatura de referencia (Tr) | ° C | 20,6 |
| 101 | Temperatura (Ti) | ° C | 19,4 |
| 102 | Temperatura (Tr-Ti) | ° C | 1,20 |
| 200 | Oxígeno disuelto | mg / L, O2 | 9,14 |
| 301 | Coliformes fecales | NMP/100ml | 333 |
| 302 | Demanda bioquímica de oxígeno | mg / L, O2 | 5 |
| 303 | Fósforo total | mg / L, P | 0,8 |
| 401 | Nitrógeno total Kjeldahl | mg / L, N | |
| 402 | Nitrógeno amoniacal | mg / L, NH3 - N | |
| 403 | Nitritos | mg / L, NO2 - N | |
| 404 | Nitratos | mg / L de NO3 - N | 1,9 |
| 405 | Nitrógeno total (TKN + NO2 + NO3) | mg / L, N | 1,90 |

Indicadores de Calidad: 1-NSF 2-UNISC

Nota:
 Usted debe seleccionar qual es el índice de calidad que se aplicará a la muestra.
 Después de esta taxa, se dará cuenta que algunas cosas están marcadas en rojo. Esto indica que el ICA seleccionado requiere que el valor de la variable como obligatoria.
 Las variables marcadas con "A" no deben ser incluidas, e que ellas son calculadas a partir de otras variables.
 Para incluir el valor de la variable basta insertar el valor directamente en la tabla.
 Use una coma (",") para separar decimales.

Clasificación Regular (62,92) ICA utiliza= NSF

Guardar Cancelar

Nombre del usuario: Nombre:Administrador do Sistema Version 2.0 Developed by: Posselt E.; Costa A. INPI: 10670-2

IQAData - [Registro de Muestras]

Sistema Registro Movimiento Herramientas Ventanas Sobre

Salida Usuarios ICA Muestras Análisis Curva ABC Ayuda

Datos

Código: Ciudad: Condiciones climáticas: Cuenca Hidrográfica:

Cuerpo Hídrico: Altitud (metros): Fecha: 19/ 8 /2021 Hora: 13:00

Local: Coordenadas (Long., Lat.) (Formato: gg.dddddd) Ejemplo: -50.820400

Observación:

| Código | Variable | Unidad | Valor |
|--------|-----------------------------------|-------------------|-------|
| 100 | Temperatura de referencia (Tr) | ° C | 20,9 |
| 101 | Temperatura (Ti) | ° C | 19,47 |
| 102 | Temperatura (Tr-Ti) | ° C | 1,43 |
| 200 | Oxígeno disuelto | mg / L, O2 | 9,17 |
| 301 | Coliformes fecales | NMP/100ml | 1400 |
| 302 | Demanda bioquímica de oxígeno | mg / L, O2 | 4 |
| 303 | Fósforo total | mg / L, P | 0,97 |
| 401 | Nitrógeno total Kjeldahl | mg / L, N | |
| 402 | Nitrógeno amoniacal | mg / L, NH3 - N | |
| 403 | Nitritos | mg / L, NO2 - N | |
| 404 | Nitratos | mg / L de NO3 - N | 1,6 |
| 405 | Nitrógeno total (TKN + NO2 + NO3) | mg / L, N | 1,60 |

Indicadores de Calidad: 1-NSF 2-UNISC

Nota:
 Usted debe seleccionar qual es el índice de calidad que se aplicará a la muestra.
 Después de esta taxa, se dará cuenta que algunas cosas están marcadas en rojo. Esto indica que el ICA seleccionado requiere que el valor de la variable como obligatoria.
 Las variables marcadas con "A" no deben ser incluidas, e que ellas son calculadas a partir de otras variables.
 Para incluir el valor de la variable basta insertar el valor directamente en la tabla.
 Use una coma (",") para separar decimales.

Clasificación Regular (58,52) ICA utiliza= NSF

Guardar Cancelar

Nombre del usuario: Nombre:Administrador do Sistema Version 2.0 Developed by: Posselt E.; Costa A. INPI: 10670-2

IQAData - [Registro de Muestras]

Sistema Registro Movimiento Herramientas Ventanas Sobre

Salida Usuarios ICA Muestras Análisis Curva ABC Ayuda

Datos

Código: Ciudad: Condiciones climáticas: Cuenca Hidrográfica:

Cuerpo Hídrico: Altitud (metros): Fecha: 19/ 8 /2021 Hora: 13:00

Local: Coordenadas (Long., Lat.) (Formato: gg.ddddddd) Ejemplo: -50.820400

Observación:

Indicadores de Calidad

1-NSF
 2-UNISC

| Código | Variable | Unidad | Valor |
|--------|-----------------------------------|-------------------|-------|
| 100 | Temperatura de referencia (Tr) | * C | 20,7 |
| 101 | Temperatura (Ti) | * C | 18,87 |
| 102 | Temperatura (Tr-Ti) | * C | 1,83 |
| 200 | Oxígeno disuelto | mg / L, O2 | 9,6 |
| 301 | Coliformes fecales | NMP/100ml | 100 |
| 302 | Demanda bioquímica de oxígeno | mg / L, O2 | 5 |
| 303 | Fósforo total | mg / L, P | 0,66 |
| 401 | Nitrógeno total Kjeldahl | mg / L, N | |
| 402 | Nitrógeno amoniacal | mg / L, NH3 - N | |
| 403 | Nitritos | mg / L, NO2 - N | |
| 404 | Nitratos | mg / L de NO3 - N | 2,4 |
| 405 | Nitrógeno total (TKN + NO2 + NO3) | mg / L, N | 2,40 |

Nota:
 Usted debe seleccionar qual es el índice de calidad que se aplicará a la muestra.
 Después de esta taxa, se dará cuenta que algunas casillas están marcadas en rojo. Esto indica que el ICA seleccionado requiere que el valor de la variable como obligatoria.
 Las variables marcadas con "A" no deben ser incluidas, e que ellas sao calculadas a partir de otras variables.
 Para incluir el valor de la variable basta insertir el valor directamente en la tabla.
 Use una coma (",") para separar decimales.

Clasificación Regular (64,83) ICA utiliza= NSF

Guardar Cancelar

Nombre del usuario: Nombre:Administrador do Sistema Version 2.0 Developed by: Posselt E.; Costa A. INPI: 10670-2

