



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO SANTA  
BÁRBARA, CANTONES: SÍGSIG, CHORDELEG Y GUALACEO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: JORGE ANDRÉS SAQUICELA PRADO**

**DIRECTOR: BLGA. PAULA MILENA CORDERO CUEVA MSc.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO SANTA BÁRBARA,

CANTONES: SÍGSIG, CHORDELEG Y GUALACEO

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: JORGE ANDRÉS SAQUICELA PRADO**

**DIRECTOR: BLGA. PAULA MILENA CORDERO CUEVA MSc.**

**CUENCA – ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*

## DECLARACIÓN

Yo, Jorge Andrés Saquicela Prado, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



**Jorge Andrés Saquicela Prado**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Andrés Saquicela Prado bajo mi supervisión.



---

**Blga. Paula Milena Cordero Cueva MSc.**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecer a mi mamá y a mi abuelita, por el amor incondicional, por la paciencia y por todo el apoyo brindado, y sobre todas las cosas, por ser ejemplo de superación y perseverancia.

Gracias a mis tías y tíos, a mis primas y primos por apoyarme, quererme, por todo el cariño y amistad que me brindan, y por las vivencias en este trayecto y por las que vendrán. Gracias a toda mi familia en general por siempre estar unida en las buenas y en las malas.

Agradecer a la bióloga Paula Cordero por su apoyo, paciencia, enseñanzas y por el conocimiento brindado para el desarrollo de este proyecto de titulación.

Finalmente, agradecer a la Universidad Católica de Cuenca y a sus docentes por los conocimientos brindados.

## **DEDICATORIA**

A mi querida madre Lorena, a mi querida abuelita Mercedes, por ser el elemento fundamental en mi vida y la conquista de mis objetivos.

A mi abuelito Rodolfo y mi tío Julio que gozan del descanso eterno.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia que siempre me han apoyado.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS .....	ix
LISTA DE ECUACIONES.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN .....	- 1 -
1.1 Objetivos .....	- 4 -
CAPÍTULO II.....	- 5 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	- 5 -
2.1. Descripción del cantón Sígsig .....	- 5 -
2.2. Descripción del cantón Chordeleg.....	- 9 -
2.3. Descripción del cantón Gualaceo.....	- 13 -
2.4. Descripción de la subcuenca del río Santa Bárbara .....	- 18 -
2.5. Conceptos generales .....	- 19 -
2.6. Protocolos de análisis ecohidrológico.....	- 21 -
2.7. Cuerpos legales aplicables .....	- 37 -
CAPÍTULO III.....	- 38 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	- 38 -
3.1. Tipo de estudio.....	- 38 -
3.2. Población y muestra.....	- 38 -
3.3. Zona de estudio - Ubicación.....	- 38 -
3.4. Análisis de la calidad de hábitat fluvial IHF.....	- 42 -
3.5. Análisis de la calidad QBR (vegetación de ribera).....	- 48 -
3.6. Análisis de la calidad hidromorfológica.....	- 52 -
3.7. Análisis de macroinvertebrados acuáticos.....	- 53 -
3.8. Medición del oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua y conductividad eléctrica .....	- 55 -

3.9. Análisis de calidad fisicoquímica y microbiológica - Aplicación del ICA- NSF ...	55 -
3.10. Estado ecológico del río .....	63 -
CAPÍTULO IV .....	65 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65 -
4.1. Calidad de hábitat fluvial IHF - Resultados.....	65 -
4.2. Resultados de la calidad QBR (vegetación de ribera) .....	67 -
4.3. Diversidad vegetal identificada durante el monitoreo .....	69 -
4.4. Resultados del ABI.....	73 -
4.5. Calidad del agua y calificación de acuerdo a parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i> -	74 -
4.6. Correlación del índice ABI versus los parámetros fisicoquímicos evaluados <i>in situ</i> -	80 -
4.7. Comparación entre el índice ICA y el índice ABI .....	83 -
4.8. Determinación del estado ecológico.....	86 -
CAPÍTULO V .....	90 -
5 CONCLUSIONES .....	90 -
CAPITULO VI .....	93 -
6. RECOMENDACIONES .....	93 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95 -
ANEXOS.....	100 -

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de ubicación del cantón Sígsig en la provincia del Azuay .....	5 -
Ilustración 2: Mapa de la división política del cantón Sígsig .....	6 -
Ilustración 3: Mapa de límites del cantón Sígsig .....	6 -
Ilustración 4: Mapa de usos del suelo del cantón Sígsig .....	8 -
Ilustración 5: Precipitación promedio mensual de la estación meteorológica SIGSIG INAMHI M0424 (periodo 1998-2013) .....	9 -
Ilustración 6: Mapa de ubicación del cantón Chordeleg en la provincia del Azuay .....	10 -
Ilustración 7: Mapa de división política del cantón Chordeleg .....	10 -
Ilustración 8: Mapa de límites del cantón Chordeleg.....	11 -
Ilustración 9: Mapa de usos del suelo del cantón Chordeleg.....	13 -
Ilustración 10: Mapa de ubicación del cantón Gualaceo en la provincia del Azuay .....	14 -
Ilustración 11: Mapa de división política del cantón Gualaceo .....	15 -
Ilustración 12: Mapa de límites del cantón Gualaceo .....	15 -
Ilustración 13: Mapa de usos del suelo del cantón Gualaceo .....	17 -
Ilustración 14: Precipitación promedio mensual de la estación meteorológica GUALACEO INAMHI M0139 (periodo 1998-2013) .....	18 -

Ilustración 15: Mapa de ubicación de la subcuenca del río Santa Bárbara en la cuenca del río Paute.....	- 19 -
Ilustración 16: Escala de pH.....	- 27 -
Ilustración 17: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo .....	- 39 -
Ilustración 18: Zona minera San Sebastián, PM <sub>01</sub> .....	- 40 -
Ilustración 19: Sector puente de la Unión, PM <sub>02</sub> .....	- 40 -
Ilustración 20: Sector puente de San Juan, PM <sub>03</sub> .....	- 41 -
Ilustración 21: Sector puente Bimbabum, PM <sub>04</sub> .....	- 41 -
Ilustración 22: Sector puente de Certag. ....	- 42 -
Ilustración 23: Grado de inclusión de los sustratos.....	- 43 -
Ilustración 24: Frecuencia de rápidos .....	- 43 -
Ilustración 25: Composición del sustrato .....	- 44 -
Ilustración 26: Regímenes de velocidad/profundidad.....	- 44 -
Ilustración 27: Sombra en el cauce .....	- 45 -
Ilustración 28: Elementos de heterogeneidad.....	- 45 -
Ilustración 29: Cobertura de vegetación acuática .....	- 46 -
Ilustración 30: Imagen satelital de los puntos muestreados.....	- 47 -
Ilustración 31: Imagen satelital PM <sub>01</sub> , PM <sub>02</sub> , PM <sub>03</sub> , PM <sub>04</sub> , PM <sub>05</sub> , respectivamente. ....	- 47 -
Ilustración 32: Grado de cubierta para la zona de ribera .....	- 48 -
Ilustración 33: Estructura de la cubierta de la zona de ribera .....	- 49 -
Ilustración 34: Calidad de la cubierta de ribera .....	- 50 -
Ilustración 35: Grado de naturalidad del canal fluvial .....	- 51 -
Ilustración 36: Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5.....	- 57 -
Ilustración 37: Valoración de la calidad del agua en función del % de saturación del OD... -	58 -
Ilustración 38: Valoración de la calidad de agua en función del pH.....	- 58 -
Ilustración 39: Valoración de la calidad de agua en función de la turbiedad .....	- 59 -
Ilustración 40: Valoración de la calidad de agua en función de los fosfatos.....	- 59 -
Ilustración 41: Valoración de la calidad de agua en función de los nitratos.....	- 60 -
Ilustración 42: Valoración de la calidad de agua en función de la variación de temperatura .....	- 60 -
Ilustración 43: Valoración de la calidad de agua en función de los coliformes fecales..	- 61 -
Ilustración 44: Valoración de la calidad de agua en función de los SDT.....	- 61 -
Ilustración 45: Sitio web para el cálculo del ICA NSF.....	- 62 -
Ilustración 46: Escala de calidad hidromorfológica .....	- 63 -
Ilustración 47: Tendencia del índice IHF .....	- 66 -
Ilustración 48: Tendencia del índice QBR .....	- 68 -
Ilustración 49: Tendencia del índice de Margalef.....	- 71 -
Ilustración 50: Tendencia del índice de Simpson.....	- 72 -
Ilustración 51: Tendencia del índice de Shannon .....	- 72 -
Ilustración 52: Tendencia de la calidad biológica ABI .....	- 74 -
Ilustración 53: Resultados del pH in situ.....	- 76 -
Ilustración 54: Resultados del oxígeno disuelto in situ.....	- 77 -
Ilustración 55: Resultados de la conductividad eléctrica in situ .....	- 78 -
Ilustración 56: Temperatura del agua - Resultados .....	- 79 -
Ilustración 57: Caudales promedios registrados .....	- 80 -

Ilustración 58: Gráfico de dispersión entre el ABI y los parámetros in situ .....	- 81 -
Ilustración 59: Tendencia del índice ICA <sub>NSF</sub> .....	- 84 -
Ilustración 60: Representación del estado ecológico del río Santa Bárbara .....	- 89 -

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Formaciones naturales del cantón Sígsig con relación a la cobertura vegetal natural.....	- 7 -
Tabla 2: Formaciones naturales del cantón Chordeleg con relación a la cobertura vegetal natural.....	- 11 -
Tabla 3: Usos del suelo del cantón Chordeleg.....	- 12 -
Tabla 4: Formaciones naturales del cantón Gualaceo con relación a la cobertura vegetal natural.....	- 16 -
Tabla 5: Usos del suelo del cantón Gualaceo .....	- 17 -
Tabla 6: Resumen de los componentes de biodiversidad alfa, beta y gamma .....	- 23 -
Tabla 7: Valores de Oxígeno Disuelto e importancia. ....	- 26 -
Tabla 8: Escalas de conductividad para diferentes tipos de agua. ....	- 28 -
Tabla 9: Lugares en donde pueden vivir los macroinvertebrados acuáticos.....	- 31 -
Tabla 10: Fuentes de alimentos de los macroinvertebrados acuáticos.....	- 32 -
Tabla 11: Formas más comunes de los macroinvertebrados acuáticos. ....	- 33 -
Tabla 12: Clasificación de macroinvertebrados según su entorno.....	- 33 -
Tabla 13: Principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos .....	- 34 -
Tabla 14: Puntaje e interpretación del ABI.....	- 37 -
Tabla 15: Puntos de muestreo y coordenadas .....	- 38 -
Tabla 16: Establecimiento de la calidad para el puntaje IHF .....	- 46 -
Tabla 17: Establecimiento de calidad para el puntaje QBR .....	- 51 -
Tabla 18: Factor de correlación (k).....	- 53 -
Tabla 19: Tabla de equivalencia ABI.....	- 54 -
Tabla 20: Escala de interpretación de la correlación.....	- 55 -
Tabla 21: Ponderación para cada parámetro del ICA-NSF .....	- 56 -
Tabla 22: Concentraciones de oxígeno en equilibrio a varias altitudes y temperaturas -	57 -
Tabla 23: Escala de clasificación de la calidad de agua ICA-NSF.....	- 61 -
Tabla 24: Valores de asignación para los parámetros de la calidad hidromorfológica ..	- 63 -
Tabla 25: Puntuación para la calidad hidromorfológica .....	- 63 -
Tabla 26: Calidad biológica ABI y la calidad hidromorfológica - Relación .....	- 64 -
Tabla 27: Interpretación de la calidad ecológica del río.....	- 64 -
Tabla 28: Puntaje y estado asignados por el índice IHF en los 5 puntos de muestreo .-	65 -
Tabla 29: Puntaje y estado asignados por el índice QBR en los 5 puntos de muestreo-	67 -
Tabla 30: Especies vegetales presentes en 200m <sup>2</sup> en el punto de muestreo PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián.....	- 69 -
Tabla 31: Especies vegetales presentes en 200m <sup>2</sup> en el punto de muestreo PM <sub>02</sub> Puente de La Unión .....	- 69 -
Tabla 32: Especies vegetales presentes en 200m <sup>2</sup> en el punto de muestreo PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan.....	- 70 -
Tabla 33: Especies vegetales presentes en 200m <sup>2</sup> en el punto de muestreo PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbambum.....	- 70 -

Tabla 34: Especies vegetales presentes en 200m <sup>2</sup> en el punto de muestreo PM <sub>05</sub> Puente de Certag .....	- 70 -
Tabla 35: Resultados obtenidos de los índices de: Margalef, Simpson y Shannon .....	- 71 -
Tabla 36: Valores del índice ABI promedio del muestreo 1,2 y 3.....	- 73 -
Tabla 37: Parámetros fisicoquímicos medidos in situ y límite máximo.....	- 75 -
Tabla 38: Valores del índice ICA <sub>NSF</sub> .....	- 83 -
Tabla 39: Comparación entre el índice ICA <sub>NSF</sub> y ABI.....	- 84 -
Tabla 40: Test ANOVA de un factor .....	- 85 -
Tabla 41: Aplicación del test Tukey.....	- 85 -
Tabla 42: Resultados obtenidos para la calidad hidromorfológica .....	- 86 -
Tabla 43: Resultados obtenidos para la calidad hidromorfológica y ABI .....	- 86 -
Tabla 44: Determinación del estado ecológico para cada punto de muestreo.....	- 87 -
Tabla 45: Estado ecológico determinado los diferentes puntos de muestreo .....	- 87 -

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Datos INAMHI para la estación meteorológica M0424 SÍGSIG.....	- 100 -
<b>Anexo 2:</b> Precipitaciones promedio para la estación meteorológica M0139 GUALACEO 1998-2013.....	- 101 -
<b>Anexo 3:</b> Formato de evaluación del IHF .....	- 102 -
<b>Anexo 4:</b> Formato de evaluación del QBR .....	- 103 -
<b>Anexo 5:</b> Especies vegetales identificadas en los puntos de muestreo .....	- 104 -
<b>Anexo 6:</b> Macroinvertebrados registrados para el muestreo 1 - noviembre .....	- 106 -
<b>Anexo 7:</b> Macroinvertebrados registrados para el muestreo 2 - diciembre.....	- 112 -
<b>Anexo 8:</b> Macroinvertebrados registrados para el muestreo 3 - enero.....	- 117 -
<b>Anexo 9:</b> Parámetros fisicoquímicos 2019 proporcionados por el Ministerio del Ambiente y Agua .....	- 124 -
<b>Anexo 10:</b> Recolección de muestras .....	- 126 -
<b>Anexo 11:</b> Fase de laboratorio (análisis e identificación de macroinvertebrados).....	- 127 -
<b>Anexo 12:</b> Cálculo del índice ICA <sub>NSF</sub> para el PM <sub>01</sub> , PM <sub>02</sub> , PM <sub>03</sub> , PM <sub>04</sub> y PM <sub>05</sub> ; respectivamente .....	- 127 -

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para cálculo de la velocidad del río.....	- 52 -
Ecuación 2: Cálculo de la profundidad media – Fórmula.....	- 52 -
Ecuación 3: Fórmula para el cálculo del área transversal .....	- 53 -
Ecuación 4: Cálculo el caudal del río – Fórmula .....	- 53 -
Ecuación 5: Fórmula para calcula el ICA-NSF .....	- 56 -

## RESUMEN

En este trabajo de titulación se determinó el estado ecológico del río Santa Bárbara en cinco puntos de muestreo abarcando los cantones de Sígsig, Chordeleg y Gualaceo en los meses de noviembre, diciembre de 2020 y enero de 2021, utilizando para ello la integración de índices, que son: Índice de Hábitat Fluvial (IHF), Índice de Vegetación de Ribera (QBR), Índice Biótico Andino (ABI) mediante la asignación de puntajes. Además, se realizaron análisis de la cobertura vegetal actual del bosque de ribera; y mediciones *in situ* de parámetros como: temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, conductividad y caudales promedio, para de esta manera analizar la relación entre parámetros.

Como resultado de los análisis se obtuvo que: la cuenca media-alta y baja del río Santa Bárbara, presentan un estado ecológico moderado y malo respectivamente, mismo que se obtiene interceptando las características analizadas, y aplicando el modelo de Calidad Ecológica de Ríos Andinos CERA-s y el Protocolo de Evaluación de la Integridad Ecológica de los Ríos de la Región Austral del Ecuador.

Los resultados obtenidos brindan una herramienta de gestión en procesos de toma de decisiones, tanto para empresas privadas, así como para los organismos encargados de la gestión y administración del agua como: el Ministerio del Ambiente y Agua, y los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Sígsig, Chordeleg y Gualaceo.

**Palabras clave:** CALIDAD DE AGUA, MACROINVERTEBRADOS, RÍO SANTA BÁRBARA, CALIDAD DE RIBERA

## **ABSTRACT**

In this thesis, the ecological status of the Santa Barbara River was determined at 5 sampling points covering the cantons of Sígsg, Chordeleg, and Gualaceo in the months of November, December 2020, and January 2021 using the integration of indices, which are River Habitat Index (RHI), Riverside Vegetation Index (RVI), Andean Biotic Index (ABI) by assigning scores. Additionally, analyses of the current vegetation cover of the riverside forest were conducted; and *in situ* measurements of parameters, such as water temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, and average flows, to analyze the relationship between parameters.

As a result of the analyses, it was obtained that the upper-middle and lower basin of the Santa Barbara River present a moderate and bad ecological status respectively, which is obtained by intercepting the analyzed characteristics and applying the CERA-s model of Ecological Quality of Andean Rivers and the Protocol of Evaluation of the Ecological Integrity of the Rivers of the Southern Region of Ecuador.

The results attained, provide a management tool in decision-making processes both for private companies, as well as for organizations in charge of water management and administration, such as the Ministry of Environment and Water, and the Decentralized Autonomous Governments of Sígsg, Chordeleg, and Gualaceo.

**KEYWORDS: WATER QUALITY, MACROINVERTEBRATES, SANTA BARBARA RIVER, RIVERBANK QUALITY**



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua en nuestro planeta pertenece a los recursos más importantes para la vida. Siendo un elemento primordial para saciar las actividades esenciales humanas: el mantenimiento de los ecosistemas, el desarrollo industrial, energía, salud y la producción de alimentos (Córdoba *et al.*, 2010). La proporción de agua que existe en la tierra es de 1.385 millones de km<sup>3</sup>, de los cuales menos del 1% pertenece a agua dulce, usable de forma fácil. De este reducido porcentaje a la humedad retenida en el suelo le corresponde el 38%; para los lagos el 52%; en vapor atmosférico el 8%, mientras que solamente un 1% pertenece a ríos y un 1% de seres vivos (Hahn *et al.*, 2009).

Sudamérica posee aproximadamente el 26% de los medios hídricos en total del planeta. Las precipitaciones promedio corresponden a 1.600 mm por año, alcanzan niveles cortos (en el desierto de Atacama con 20 mm/año) o demasiado cuantiosas (al Sur de Chile con 4000 mm) (Fernández & Du Mortier, 2012). La cordillera de los Andes es el lugar en donde nacen varios riachuelos: están los que drenan glaciares y empinadas montañas, los que manan desde de acuíferos, de igual manera los que provienen por procesos de filtración suelos orgánicos y también aquellos que salen de lagunas y humedales. Dichos ríos y riachuelos no solamente poseen una belleza paisajística, sino también en su marcha acogen las propiedades químicas de las zonas o sectores que recorren y brindan servicios importantes para nuestra sociedad (Encalada *et al.*, 2011).

Los ríos y quebradas son recorridos naturales de agua fundamentales tanto para la correcta marcha en general del planeta, así como para abastecer las actividades hídricas primordiales de orden doméstica de las poblaciones humanas y sus actividades productivas. A través de sus cauces se transportan nutrientes, sedimentos, y sales; y de igual manera se regulan entre sí por acción natural a lo largo de extensas distancias y altitudes desde la formación hasta la desembocadura en los océanos.

Dadas sus características físico-químicas, el agua, se comporta como un excelente disolvente de elementos inorgánicos y orgánicos; de tal forma que, se pueden encontrar sustancias que modifican sus propiedades, lo cual le convierte en un

complejo sistema sobre el que hacer estudios tanto cuantitativos así como cualitativos con objeto de conocer el nivel y clase de variación sufrido (Aznar Jiménez, 2000). A esto agregar la presencia de diversos seres vivos en el agua que se interrelacionan y dependen de la misma.

Para valorar los sistemas hídricos con respecto a su calidad, fueron usados como bioindicadoras de las circunstancias del medio ambiente conjuntos biológicos, puesto que manifiestan las condiciones bióticas, físicas y químicas mismas que incorporan y retienen las consecuencias de la alteración de estas sobre el medio ambiente (Meza & Rubio, 2012). Uno de los conjuntos que cada vez es más utilizado y aceptado como instrumento fundamental en el estudio del agua y su calidad es el de los macroinvertebrados, pues responden a variaciones producidas por acciones antrópicas en el medio en que habitan (Meza & Rubio, 2012). Como bioindicadores de la calidad de los cuerpos hídricos se apoyan en la razón de que estos especímenes habitan un entorno a cuyos requerimientos del medio ambiente estos se adaptan. Cualquier alteración sufrida en las condiciones ambientales se verá reflejado en la distribución y constitución de las sociedades acuáticas que viven ahí (Terneus *et al.*, 2012). Dichas valoraciones muestran una mejor capacidad de análisis en comparación a otros métodos de la evaluación de calidad del agua más tradicionales, ya que da como resultado un método económicamente más viable, de aplicación y resultados rápido, y la posibilidad de brindar alternativas para futuros proyectos o toma de decisiones.

La correcta identificación de los taxa que componen las comunidades de un río es el primer paso imprescindible en cualquier estudio ya sea ecológico o de gestión de los recursos hídricos. Aunque hoy en día están disponibles distintas guías de identificación de macroinvertebrados para ríos sudamericanos, para usos prácticos, es de mucha utilidad la existencia de manuales que resuman la diversidad específica local, de esta manera se facilita la identificación y clasificación taxonómica. (González *et al.*, 2018).

El tema del estudio del recurso hídrico en el Ecuador todavía se encuentra en muchas partes del país en fases de desarrollo, las más avanzadas; mientras en otras tantas está naciendo esa iniciativa o en el peor de los casos el tema hídrico no está siendo tomado en cuenta con respecto a su estudio.

Partiendo de lo mencionado, en la subcuenca del río Santa Bárbara los estudios, diagnósticos o referencias de los ríos se encuentran desactualizados o simplemente carece de un contexto más amplio, más exhaustivo de los factores que pueden llegar a influenciar directa o indirectamente, positiva o negativamente en los afluentes de este río. A esto se suma la constante preocupación por parte de la población de los cantones de Sígsig, Chordeleg y Gualaceo; así como de la comunidad en general, puesto que se evidencia características del río ajenas a su estado natural.

De tal modo, es necesario llevar a cabo un estudio integral, siendo así, la investigación pretende establecer la calidad ecológica del río Santa Bárbara mediante protocolos de evaluación de integridad ecológica a través de parámetros biológicos, químicos y físicos, en puntos de interés o que puedan servir de evidencia para indicar contaminación ambiental; y de esta manera poder brindar una información o una referencia para posibles estudios académicos e incluso para el conocimiento de la propia comunidad con el fin de actuar con respecto al río en el tema de su conservación.

El río Santa Bárbara nace en Sígsig, en el sector conocido como Molón, importante zona de intercambio entre la región sierra y oriente. Aguas abajo de esta formación y en plena cabecera cantonal del Sígsig está una importante zona conocida como “Playa de Zhingate”, la misma que tiene una importancia relevante, tanto en el tema de festividades como en el económico-turístico, continúa en su paso por el cantón Chordeleg y el cantón Gualaceo en donde nuevamente en pleno centro cantonal el río vuelve a tomar un papel fundamental en el tema económico y turístico; y de una manera más amplia, también es uno de los principales aportadores a la cuenca del río Paute. Consecuentemente es de suma importancia contar con una información veraz y reciente, ya que un mal manejo desde un principio puede llegar a significar una gran problemática en su recorrido.

Para el estudio se toma el caso del río Santa Bárbara en su paso por los tres cantones antes mencionados, contemplando así desde su inicio aguas arriba en el sector de Infiernillos (Sígsig) hasta su final aguas abajo en el sector de Certag (Gualaceo). Comprende la determinación de la calidad ecológica un ecosistema lótico (río Santa Bárbara) por medio del monitoreo de factores biológicos, físicos y químicos; que servirá como herramienta de sustento para el control, manejo y toma de decisiones del mismo.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Determinar el estado ecológico del río Santa Bárbara, subcuenca del río Santa Bárbara, cantones: Sígsig, Gualaceo y Chordeleg

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la calidad ecológica de la ribera del río Santa Bárbara en los cantones de Sígsig, Chordeleg y Gualaceo.
- Establecer la calidad hidromorfológica del río Santa Bárbara.
- Identificar las especies vegetales representativas de los puntos de monitoreo
- Determinar la calidad del agua mediante parámetros físico y químicos.
- Determinar la calidad del agua mediante la evaluación de macroinvertebrados.
- Analizar la correlación entre el índice ABI y los factores físico químicos medidos.

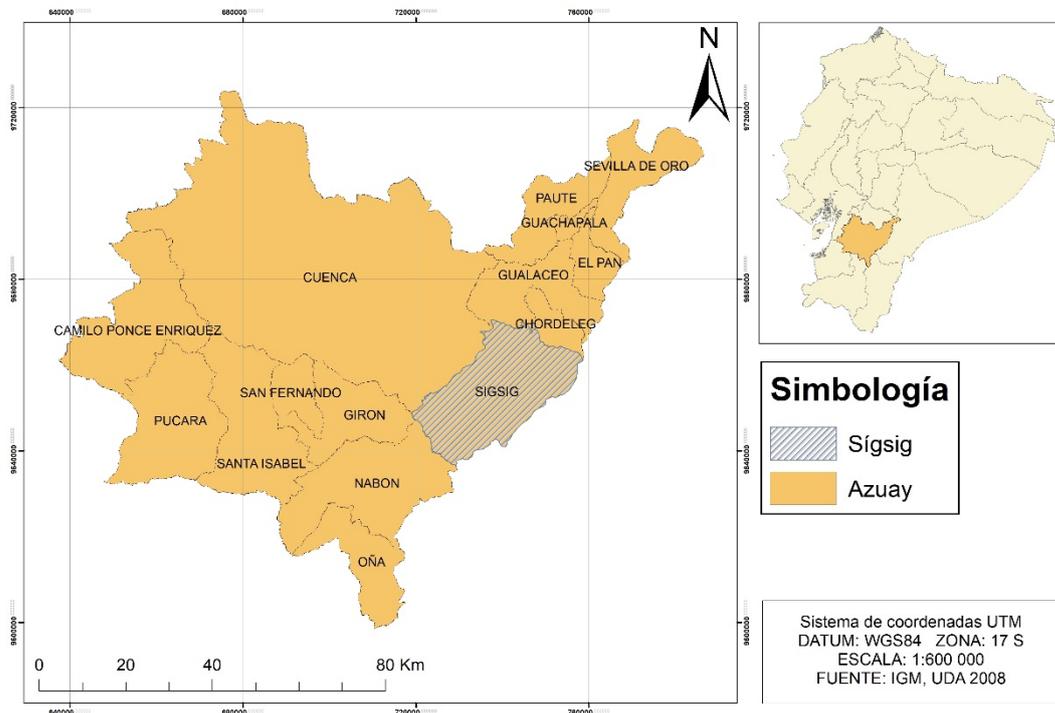
## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Descripción del cantón Sígsig

##### 2.1.1. Ubicación y superficie.

El cantón Sígsig se encuentra localizado en el sector austral del territorio ecuatoriano, en las faldas de la cordillera los Andes al sur de la misma, exactamente la zona este de la provincia del Azuay, pertenece a los 15 cantones que conforman la provincia del Azuay y forma parte de la regional 6 de las unidades de planeación nacional (GAD Sígsig, 2015).

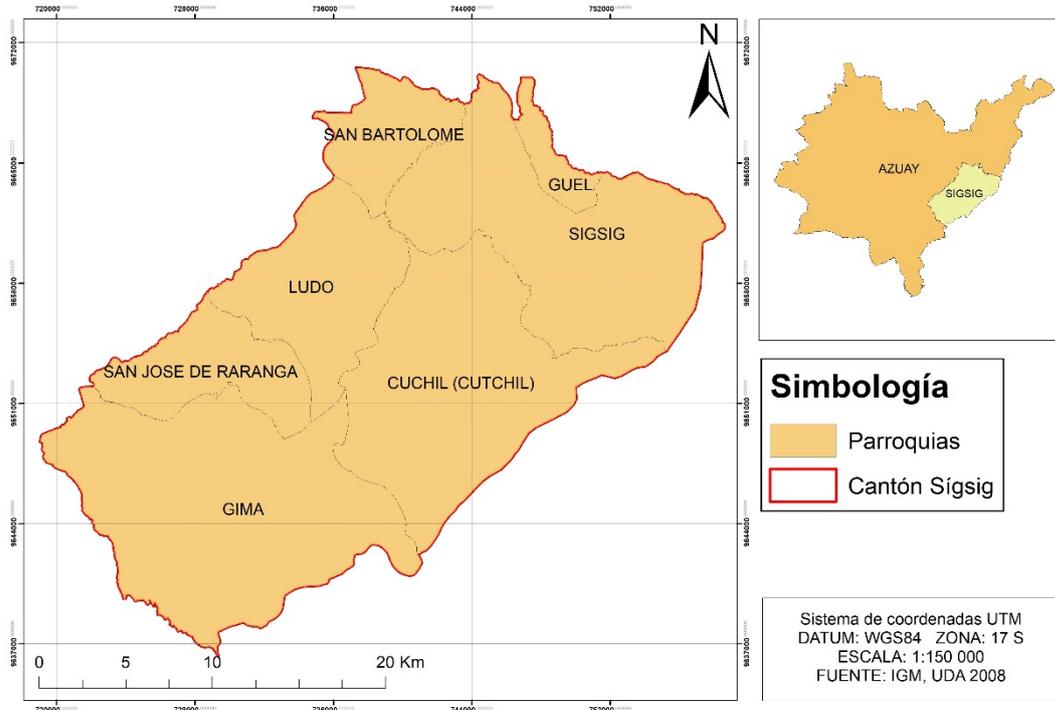


*Ilustración 1: Mapa de ubicación del cantón Sígsig en la provincia del Azuay*

*Elaboración: El autor*

Tiene una superficie de 674,53 Km<sup>2</sup> aproximadamente, la demarcación usada es la realizada por el diagnóstico entre el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y el Consejo Nacional de Límites (GAD Sígsig, 2015).

Está constituida por la parroquia urbana Sígsig y 6 rurales (Ludo, San José de Raranga, San Bartolomé, Gima, Guel, y Cuchil) (GAD Sígsig, 2015).

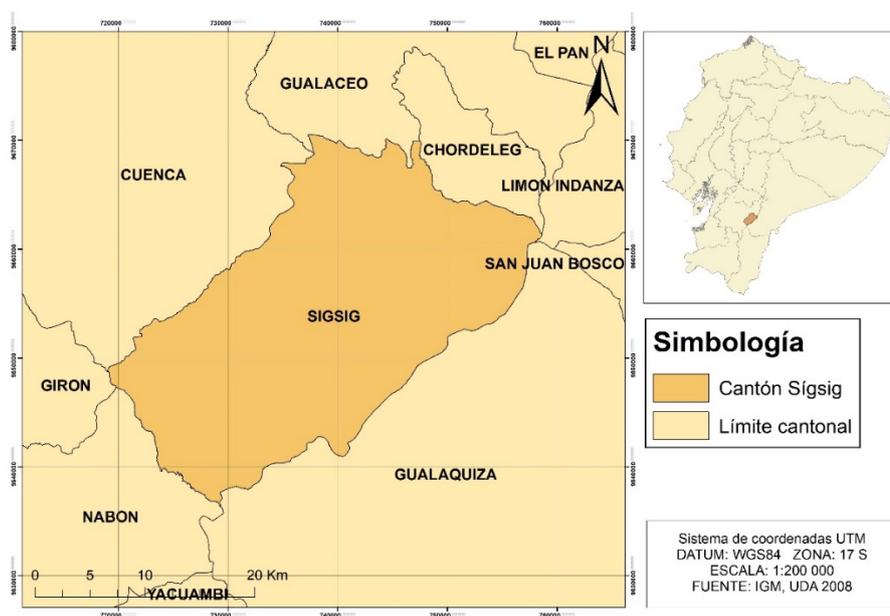


*Ilustración 2: Mapa de la división política del cantón Sigüig*

*Elaboración: El autor*

Tiene los siguientes límites:

En la parte norte: cantón Chordeleg y cantón Gualaceo. En el sector sur: Gualaquiza, Girón y Nabón. En el sector este: Provincia de Morona; Limón Indanza. Y en la parte oeste: Cuenca y Girón (GAD Sigüig, 2015).



*Ilustración 3: Mapa de límites del cantón Sigüig*

## 2.1.2. Formaciones vegetales.

De acuerdo al (GAD Sígsig, 2015) se presentan las siguientes formaciones vegetales:

Tabla 1: Formaciones naturales del cantón Sígsig con relación a la cobertura vegetal natural

RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL CON LAS FORMACIONES NATURALES DEL CANTÓN SÍGSIG		
COBERTURA VEGETAL NATURAL	SUPERFICIE	
	(ha)	%
PÁRAMO HERBÁCEO	16696.36	37.48
BOSQUE HÚMEDO	5553.12	12.47
VEGETACIÓN HERBÁCEA HÚMEDA	4699.42	10.55
MATORRAL HÚMEDO	17598.87	39.51
TOTAL	44547.77	100

Fuente: (GAD Sígsig, 2015)

Elaboración: (GAD Sígsig, 2015)

*Páramo herbáceo.*- Localizado entre altitudes de 2800 m s. n. m. hasta 3800 m s. n. m., se caracteriza por la presencia de hierbas en manojo (penacho) de los géneros: *Festuca*, *Calamagrostis*, *Hesperomeles*, *Cortadeira Nítida* (Sigse), *Miconia Aspergillaris*, *Miconia Theaezans*, mezclada con vegetación arbustiva (GAD Sígsig, 2015). Se encuentra localizado en su mayor parte en el lado este del cantón Sígsig, principalmente en las parroquias de: Sígsig, Cuchil y Gima.

*Bosque húmedo.*- Esta zona se encuentra desde los 2600 a 3000 m s. n. m. en donde se registran las siguientes familias: *Rosaceae*, *Elaeocarpaceae*, *Proteaceae*, *Myrsinaceae*, *Podocarpus spruceo*, *Melastomataceae*, *Polygalaceae*, entre las principales (GAD Sígsig, 2015). Se localiza en las parroquias de: San José de Raranga, Gima, Cuchil. Sígsig y Güel.

*Vegetación herbácea húmeda.*- Constituida por especies herbáceas primariamente gramíneas, localizadas principalmente en las parroquias de: Ludo; San Bartolomé y Gima. Según el (GAD Sígsig, 2015), se registraron las siguientes especies:

*Taraxacum officinale* (diente de león), *Gynoxys cf laurifolia*, *Gynosyx obtusifolia*, *Equisetum sp.* (cola de caballo), *Lachemilla orbiculara* (orejula), entre otras.

**Matorral húmedo.**- Las condiciones que se presentan son similares a los bosques siempreverdes, con la particularidad que este se halla en un estado de degradación debido a la influencia por las acciones agrícolas. Las especies observadas en campo son: *Oreopanax sp* *Avisceniifolius* (Pumamaqui), *Grossularaceae*, *Prunus serotina* (Capulí) (GAD Sígsig, 2015). Se localiza a lo largo de todo el cantón principalmente en las parroquias de: Ludo, San José de Raranga y Gima.

### 2.1.3. Usos del suelo.

Sígsig posee una superficie de 67453, ha, en donde el 66.04% pertenece a cobertura vegetal natural. Las ocupaciones agrícolas permanecen constituidas por cultivos de periodo corto, papa, maíz-frejol, plantaciones forestales de pino y explotaciones pecuarias; mientras tanto que lo demás del cantón comprende regiones improductivas y pobladas (GAD Sígsig, 2015).

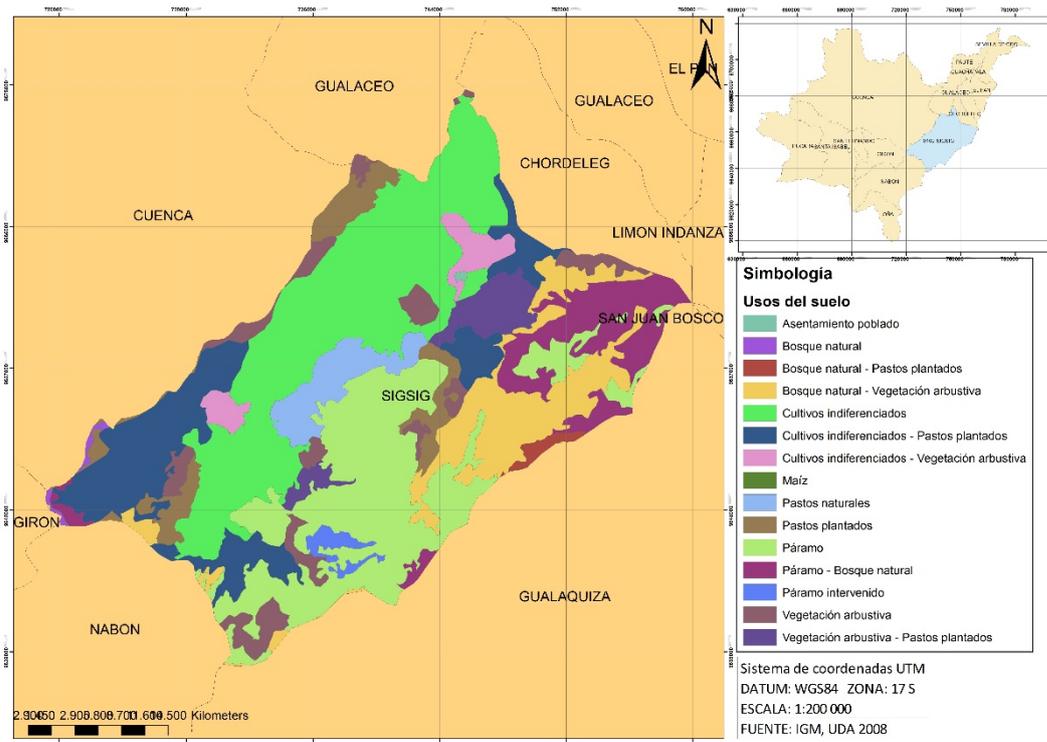


Ilustración 4: Mapa de usos del suelo del cantón Sígsig

Elaboración: El autor

#### 2.1.4. Información climática.

De acuerdo al (GAD Sígsig, 2015), los niveles de precipitaciones se presentan variaciones importantes, que oscilan entre los rangos de 700 a 1900 mm, siendo la parte nororiental del cantón la zona de mayor precipitación, conforme se avanza hacia el oeste las precipitaciones se reducen en la unión del río Santa Bárbara y el río Bolo Pamar, de esta forma las parroquias de Sígsig y San Bartolomé registran promedios anuales de precipitaciones más bajos (700mm).

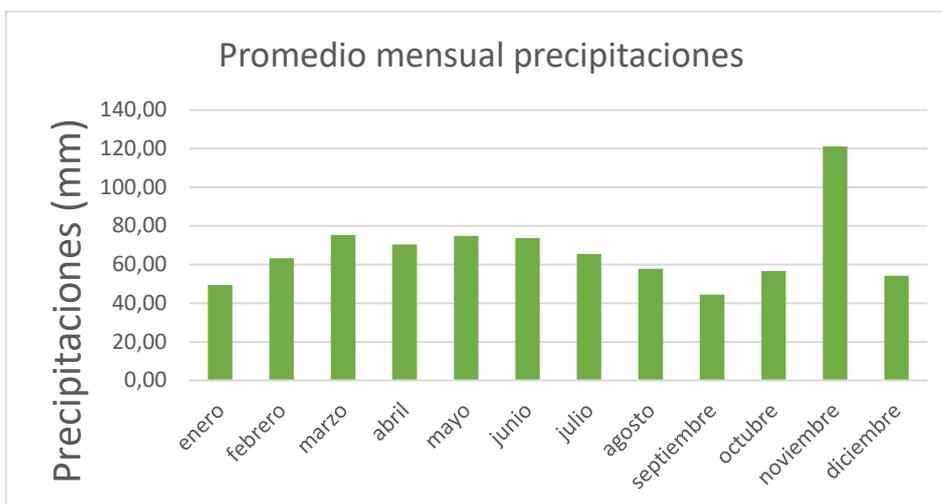


Ilustración 5: Precipitación promedio mensual de la estación meteorológica SIGSIG INAMHI M0424 (periodo 1998-2013)

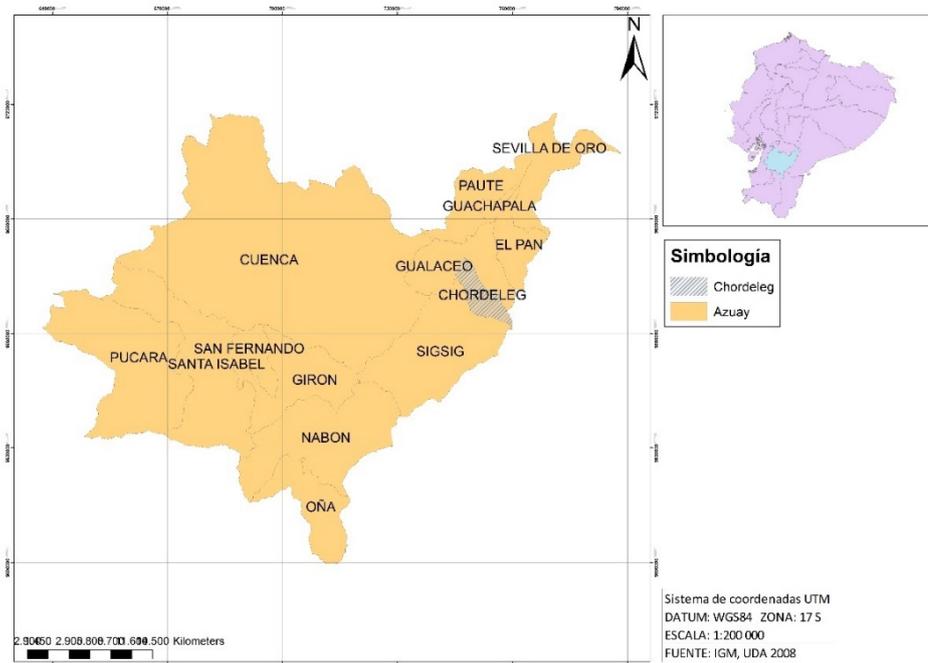
Fuente: INAMHI. Elaboración: El autor

Con respecto al clima, temperatura se encuentran las más bajas entre los 3 y 4 °C y las más altas entre los 16 y 17 °C promedio anuales. Las zonas de menor temperatura se encuentran ubicadas al nororiente del cantón. Y ascienden conforme avanzan al centro del territorio, es así que en los ríos Santa Bárbara y Bolo Pamar alcanzan los 16 y 17 °C (GAD Sígsig, 2015).

## 2.2. Descripción del cantón Chordeleg

### 2.2.1. Ubicación y superficie.

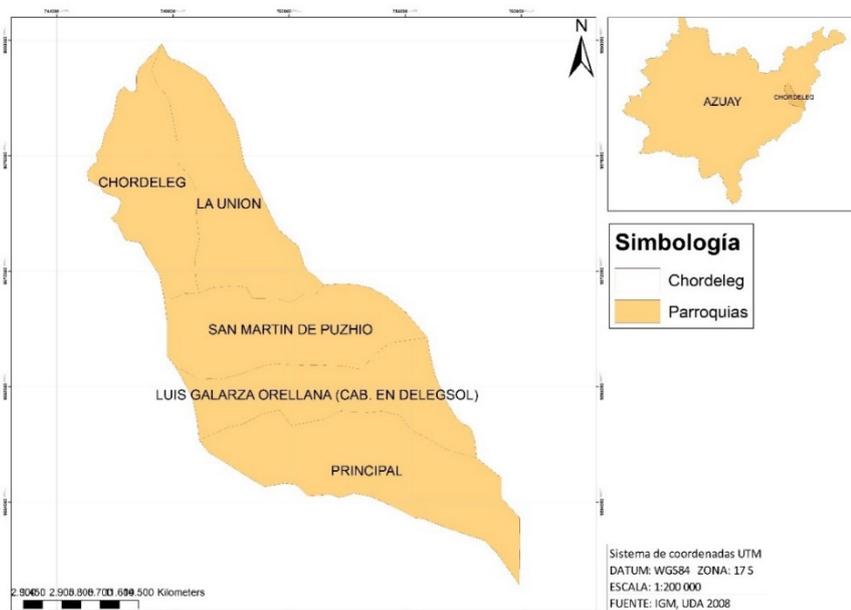
El cantón Chordeleg perteneciente a la provincia del Azuay se encuentra ubicado en la zona sur del país que en conjunto con las provincias de Morona Santiago y Cañar conforman la región 6, se encuentra aproximadamente 42 km de Cuenca y colinda con el margen derecho del río Santa Bárbara (GAD Chordeleg, 2015).



*Ilustración 6: Mapa de ubicación del cantón Chordeleg en la provincia del Azuay*

*Elaboración: El autor*

Posee una superficie de 104.7 km<sup>2</sup> que representan el 13% de la provincia del Azuay, su parroquia más pequeña es San Martín de Puzhio y la más grande es Principal con un 13% y 23% respectivamente (GAD Chordeleg, 2015). Chordeleg está conformado por: Delegsol, La Unión, Principal y San Martín de Puzhio que corresponden a las 4 parroquias rurales ; y por la parroquia urbana de Chordeleg (GAD Chordeleg, 2015).



*Ilustración 7: Mapa de división política del cantón Chordeleg*

Elaboración: El autor

Sus fronteras son: al norte con Gualaceo; en la parte sur con el río Burroplaya; de Morona Santiago y Gualaceo en la zona este; y en el sector oeste con Gualaceo y Sígsig.

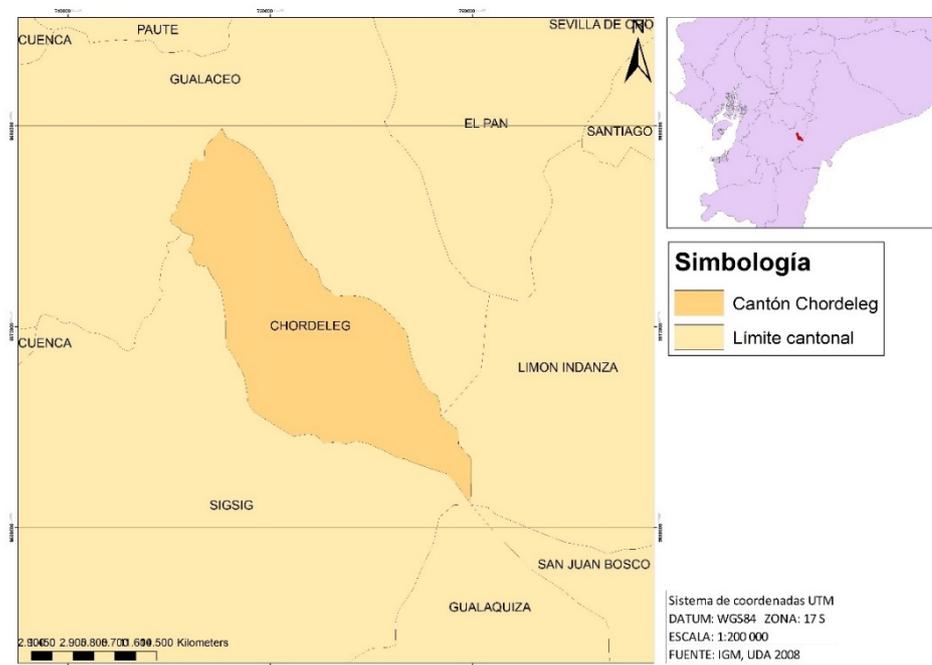


Ilustración 8: Mapa de límites del cantón Chordeleg

Elaboración: El autor

### 2.2.2. Formaciones vegetales.

Tabla 2: Formaciones naturales del cantón Chordeleg con relación a la cobertura vegetal natural

RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL CON LAS FORMACIONES NATURALES DEL CANTÓN CHORDELEG	
COBERTURA VEGETAL NATURAL	SUPERFICIE
	%
Húmedo montano bajo	36,61
Seco montano bajo	20,43
Muy húmedo montano	26,9
Páramo pluvial subalpino	16,06
TOTAL	100

Fuente: (GAD Chordeleg, 2015)

Elaboración: (GAD Chordeleg, 2015)

*Bosque húmedo montano bajo.*- Siempreverde montano que tiene aspecto húmedo (GAD Chordeleg, 2015).

*Bosque seco montano bajo.*- Pertenece a los valles secos, oscilan entre 1400 y 2500 m s. n. m. Árboles dispersos que alcanzan máximos de 8 a 10m (GAD Chordeleg, 2015).

*Bosque muy húmedo montano.*- Desde los 3000 hasta los 3400 m s. n. m. Contiene la transición entre el páramo y montano alto o ceja andina (GAD Chordeleg, 2015).

*Páramo pluvial subalpino.*- Páramos de pajonales que ocupan la mayor parte de tierras entre 3400 y 4000 m s. n. m. (GAD Chordeleg, 2015).

### **2.2.3. Usos del suelo.**

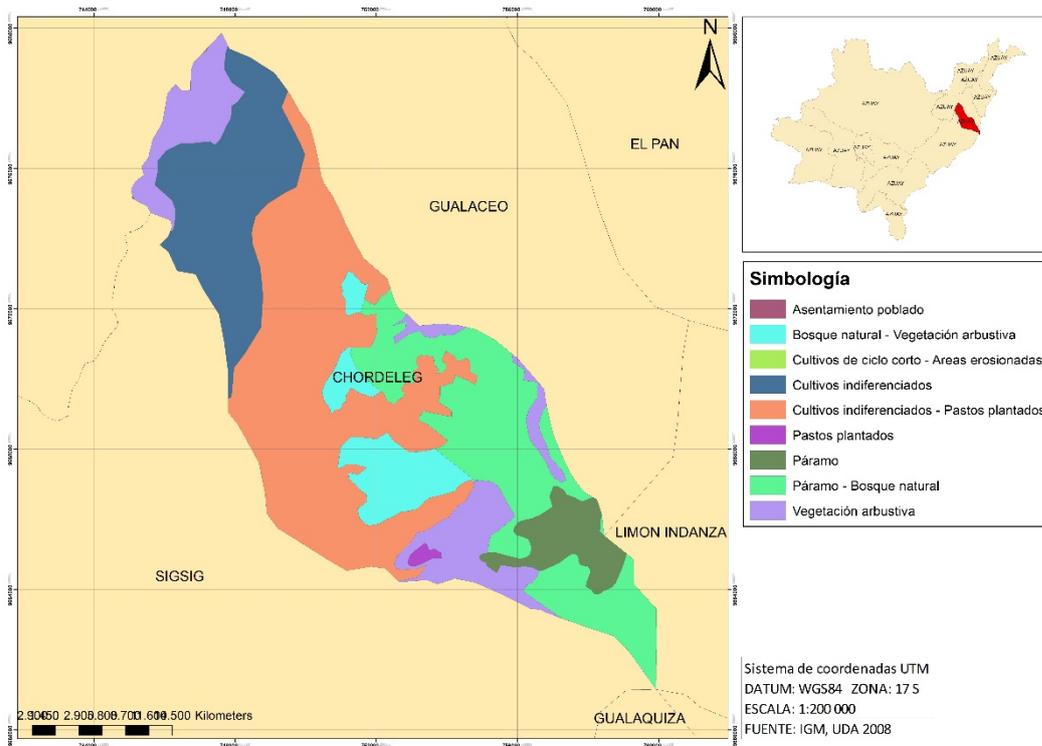
El cantón Chordeleg está conformado en mayor porcentaje de zonas productivas es decir de tierras agropecuarias, le siguen los cuerpos de agua y la vegetación herbácea y arbustiva, (GAD Chordeleg, 2015).

*Tabla 3: Usos del suelo del cantón Chordeleg*

Descripción	%
Bosque	9,53
Vegetación arbustiva y herbácea	17,94
Tierras agropecuarias	29,7
Cuerpo de agua	17,62
Otras tierras	0,05

*Fuente:* (GAD Chordeleg, 2015)

*Elaboración:* (GAD Chordeleg, 2015)



*Ilustración 9: Mapa de usos del suelo del cantón Chordeleg*

*Elaboración: El autor*

#### **2.2.4. Información climática.**

Chordeleg está influenciado por 2 climas: el ecuatorial de alta montaña y el ecuatorial mesotérmico semihúmedo comprendiendo el territorio con un 60% y 40% respectivamente, el primero con temperaturas entre los 20°C a los 0°C y una humedad relativa por encima del 80%; y el segundo entre 0°C y sin superar los 30°C y tienen una humedad entre el 65% al 80%.

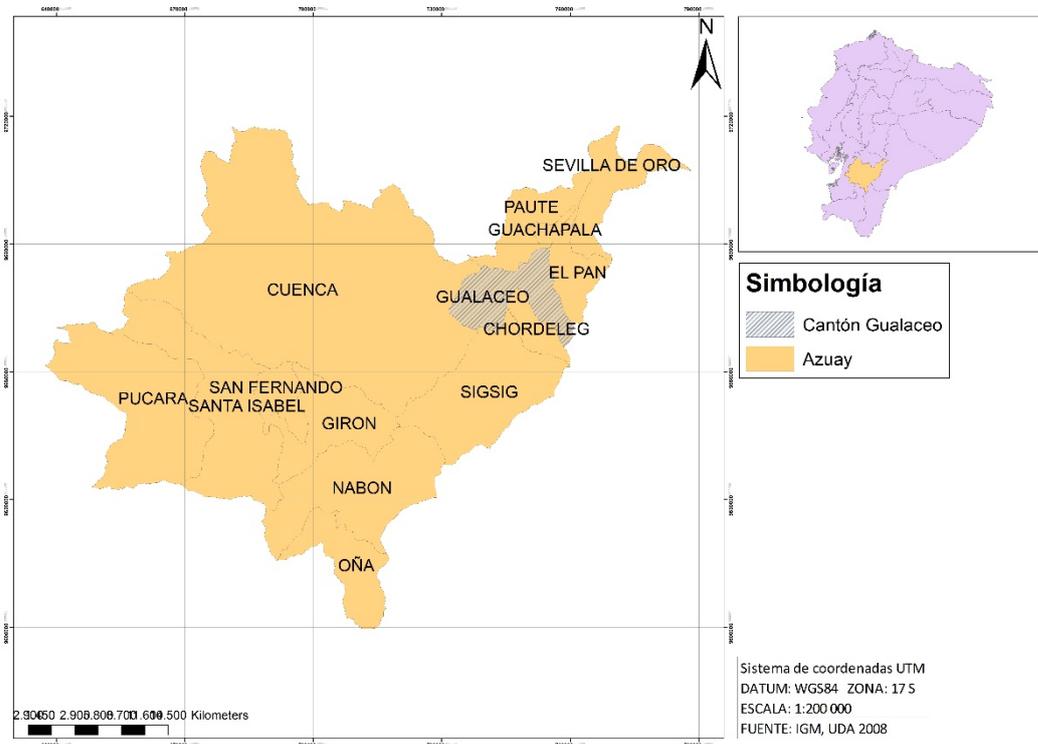
Las precipitaciones máximas se presentan entre octubre y mayo, y las más bajas en julio y agosto. Varían entre 750 – 1750 mm (GAD Chordeleg, 2015).

### **2.3. Descripción del cantón Gualaceo**

#### **2.3.1. Ubicación y superficie.**

El cantón Gualaceo también llamado como el “Jardín Azuayo” por su belleza apostada en el valle del Santa Bárbara se ubica a unos 35 km del cantón Cuenca, la mayor altitud cercana a los 4000 m s. n. m. se da en sus páramos mientras que

en las partes más bajas alcanzan los 2100 m s. n. m. Posee una superficie de 345,48km<sup>2</sup> (GAD Gualaceo, 2015).



*Ilustración 10: Mapa de ubicación del cantón Gualaceo en la provincia del Azuay*

*Elaboración: El autor*

Gualaceo está conformado por la parroquia urbana Gualaceo; y por 8 parroquias rurales: Simón Bolívar, Daniel Córdova Toral, Mariano Moreno, Jadán, Zhidmad, Luis Cordero Vega, San Juan y Remigio Crespo Toral (GAD Gualaceo, 2015).

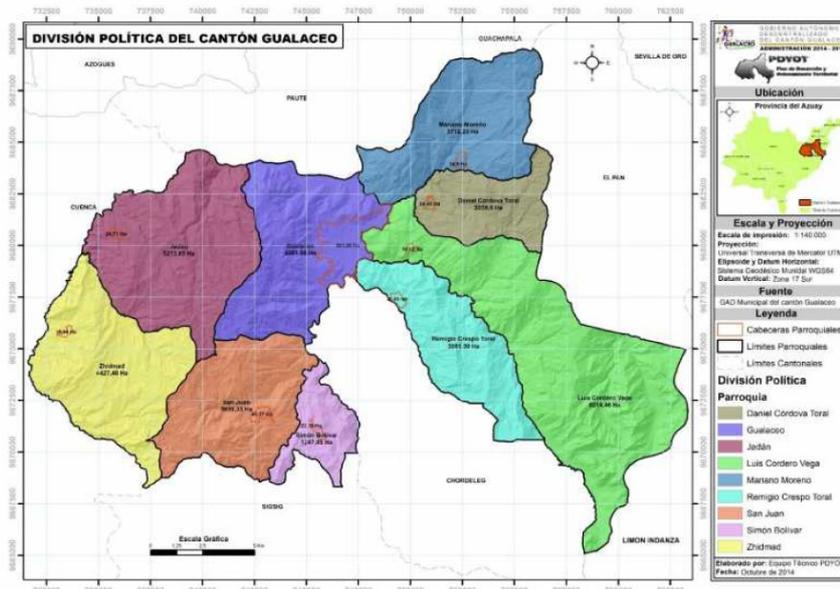


Ilustración 11: Mapa de división política del cantón Gualaceo

Fuente: (GAD Gualaceo, 2015)

Gualaceo limita: al norte con Guachapala y Paute; al este con El Pan y Limón Indanza; al sur con Chordeleg y Sigüig; con Cuenca al oeste (GAD Gualaceo, 2015).

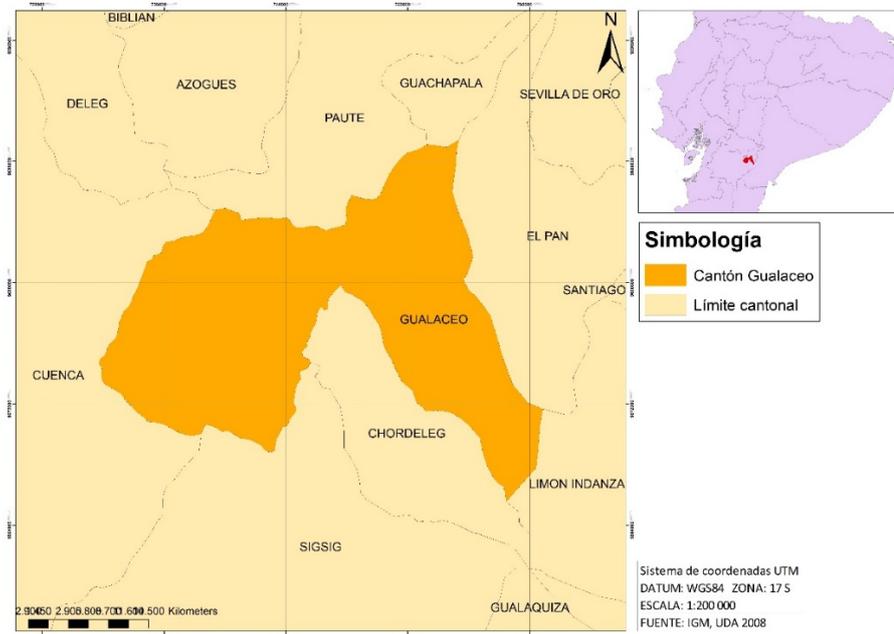


Ilustración 12: Mapa de límites del cantón Gualaceo

Elaboración: El autor

### 2.3.2. Formaciones vegetales.

Tabla 4: Formaciones naturales del cantón Gualaceo con relación a la cobertura vegetal natural

RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL NATURAL CON FORMACIONES NATURALES DEL CANTÓN GUALACEO	
COBERTURA VEGETAL NATURAL	SUPERFICIE
	(Has)
Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes	496,47
Herbazal del páramo y siempreverde	120,68
Siempreverde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes	963,56
Siempreverde montano alto del sur de la cordillera de los Andes	5904,85
Herbazal del páramo	5559,2

Fuente y elaboración: (GAD Gualaceo, 2015)

*Arbustal siempre verde montano del norte de los Andes.*- Localizado entre las altitudes de 2000 m s. n. m. hasta 3100 m s. n. m. y posee una fisonomía arbustiva y herbácea (GAD Gualaceo, 2015).

*Arbustal siempreverde y herbazal del páramo.*- Se encuentra entre altitudes de 2800 m s. n. m. hasta 3900 m s. n. m. en donde dominan los bordes del bosque las especies: *M. dodsonii*, *Miconia Cladonia*, *Weinmannia fagaroides* y *Ilex sp.* (GAD Gualaceo, 2015).

*Bosque siempreverde montano alto del sur de la cordillera oriental de los Andes.*- Localizado entre altitudes de 3000 hasta 3400 m s. n. m. el ecosistema se presenta en quebradas o laderas montañosas con pendiente espinadas a escarpadas (GAD Gualaceo, 2015).

*Bosque siempreverde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes.*- Se encuentra entre los 3000 y 2200 m s. n. m. Gran parte de géneros y de familias son andinas y en tierras bajas los elementos florísticos están ausente (GAD Gualaceo, 2015).

*Herbazal del páramo.*- Se localiza en altitudes desde 2900 hasta 4300 m s. n. m. Se caracteriza por poseer una dominancia los siguientes géneros: *Agrostis*, *Stipa*, *Festuca*, *Calamagrostis* y *Cortadeira* (GAD Gualaceo, 2015).

### 2.3.3. Usos del suelo.

El cantón Gualaceo se encuentra predominado por zonas de pastos, de vegetación y páramos (GAD Gualaceo, 2015).

Tabla 5: Usos del suelo del cantón Gualaceo

Descripción	Área (Has)
Bosque natural	2142,66
Pasto	14616,82
Cultivos de ciclo corto	3581
Páramo	3659,08
Vegetación	7052,37
Bosque intervenido	3025,43
Áreas erosionadas	69,29
Cuerpos de agua	123,37
Centros poblados	890,98

Fuente: (GAD Gualaceo, 2015)

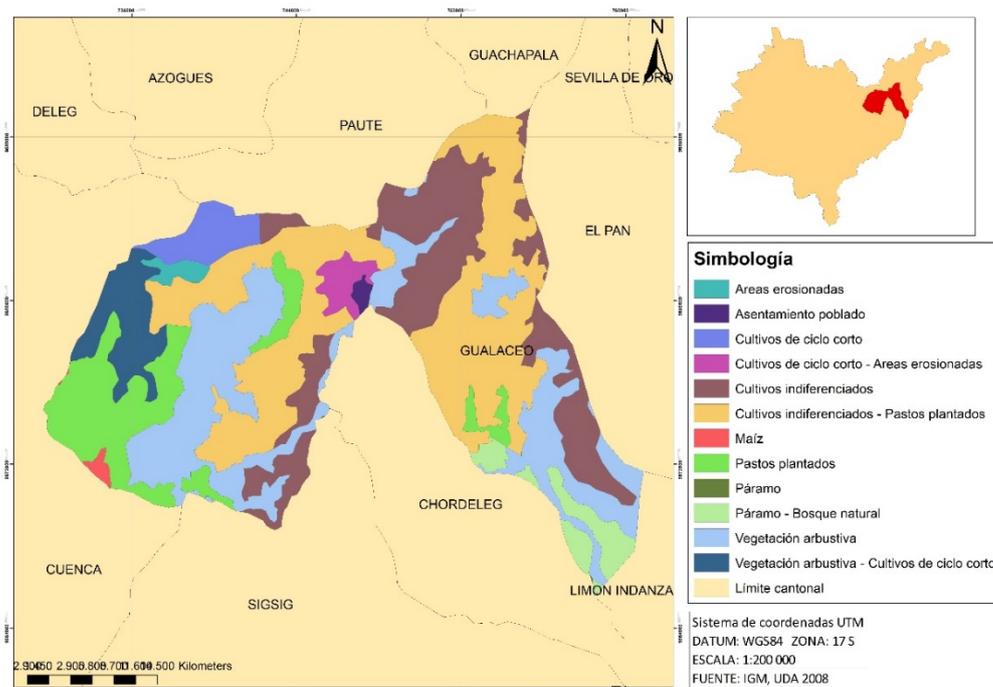


Ilustración 13: Mapa de usos del suelo del cantón Gualaceo

### 2.3.4. Información climática.

La temperatura Gualaceo se encuentra entre los intervalos de 12,5°C a los 16,5°C presentando temperaturas mínimas de 3°C y máximas que pueden alcanzar los 25°C. Las precipitaciones varían entre los 400 a 1600 mm, se consideran como meses secos desde mayo hasta septiembre.

Tiene una humedad que va desde el 65% al 85% (GAD Gualaceo, 2015).

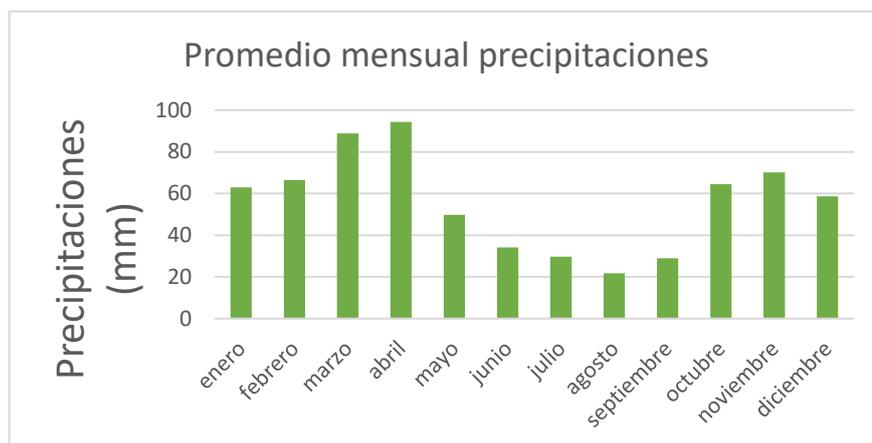


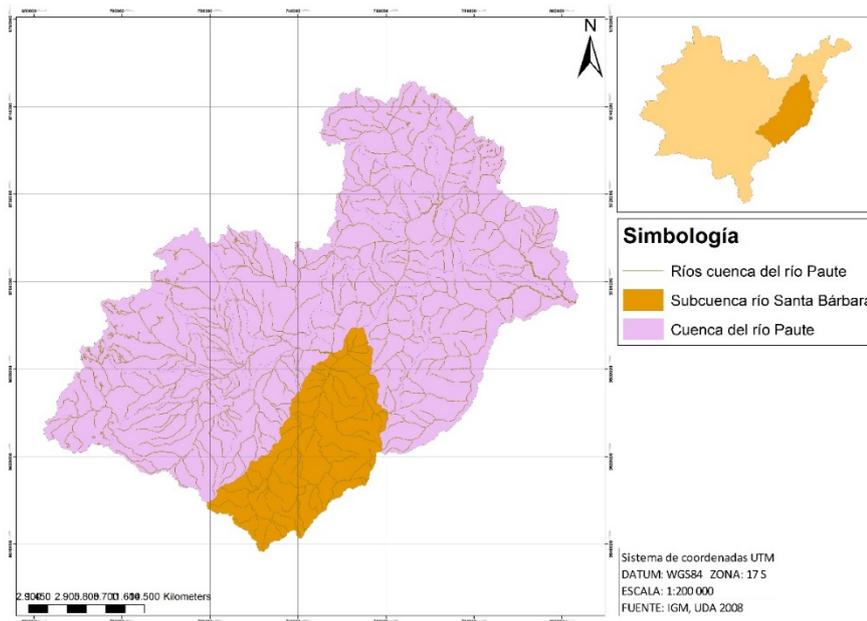
Ilustración 14: Precipitación promedio mensual de la estación meteorológica GUALACEO INAMHI M0139 (periodo 1998-2013)

Fuente: INAMHI. Elaboración: El autor

## 2.4. Descripción de la subcuenca del río Santa Bárbara

### 2.4.1. Ubicación y superficie.

La subcuenca Santa Bárbara se sitúa en el sur de la cuenca del río Paute, representa el 14,71% de la superficie de la cuenca del Paute. El 98,4% de la Subcuenca del Santa Bárbara se ubica en Azuay y en Morona Santiago el 1,6% restante; con respecto a la altitud se encuentra entre los 2220 y los 3750 m s. n. m. (Lojano & Lucero, 2011).



*Ilustración 15: Mapa de ubicación de la subcuenca del río Santa Bárbara en la cuenca del río Paute*

*Elaboración: El autor*

#### **2.4.2. División de la subcuenca.**

Ocho microcuencas son las que conforman la subcuenca del río Santa Bárbara: río San Francisco, río Gualaceo Bajo, río Gualaceo Alto, río Zhio, río San José, río Pamar, río Santa Bárbara, y río Boladel (Lojano & Lucero, 2011)

### **2.5. Conceptos generales**

#### **2.5.1. Índices multimétricos de evaluación.**

Los índices multimétricos juntan en un valor total el puntaje individual de diferentes medidas ya sean estas simples o índices bióticos. Estos métodos multimétricos son los más utilizados actualmente para conocer los sistemas hídricos y su calidad biológica, pues congregan en una sola métrica la variación en los ecosistemas de los ríos de sus elementos bióticos (González & Córdoba, 2017).

#### **2.5.2. Calidad del agua.**

Sudamérica en la mayoría de sus naciones, Norteamérica, la Unión Europea y otras zonas y sociedades, han adoptado en sus reglas de calidad de agua valoraciones base de entidades internacionales como la Organización Mundial de la Salud como indicadores específicos de referencia para sus normativas locales (Robert, 2014).

El concepto de calidad de agua va a depender de sus diferentes autores, solamente tiene trascendencia importante si se usa el medio hídrico. Esto indica, que existe la posibilidad de existir cuerpos de agua en condiciones buenas que permitan la vida acuática, sin embargo, que no sean aptas para actividades recreacionales; o puedan hallarse aguas con condiciones para consumo humano pero que no son las adecuadas para el sector industrial o viceversa (Samaniego, 2019). En síntesis, la calidad del agua va a depender del uso que se le quiera dar.

### **2.5.3. Importancia de la calidad del agua.**

Los recursos y sistemas acuáticos toman un rol fundamental en diferentes sectores como: agricultura, la industria, ganadería, ocio entre otras. La calidad y disponibilidad del agua se ha ido deteriorando a causa de elementos como el incremento poblacional, industrialización y urbanización; debido a esto medir el agua y su calidad se ha tornado un tema de interés mundial analizando sus características biológicas, físicas y químicas, así estableciendo su cambio en el grado de contaminación y pureza (Pérez *et al.*, 2018).

Sin embargo, no basta solo con la calidad del cuerpo hídrico para aseverar beneficios en pro la salud del ser humano y del ecosistema; es preciso que de igual manera se integren aspectos como: costo razonable, continuidad y cantidad. Al margen de esto, también es indispensable que los consumidores y/o beneficiarios deban tener o adquirir conocimientos sobre el uso apropiado del agua (Rojas, 2002).

### **2.5.4. Bioindicadores.**

Hace referencia a especies que por su tolerancia o sensibilidad a diferentes características son seleccionadas como bioindicadores, su uso reduce

considerablemente las actividades *in situ* y laboratorio, su aplicación primordialmente requiere la caracterización y cuantificación basados en índices previamente ajustados que califican la calidad del agua (Cedeño & Quinteros, 2016).

## **2.6. Protocolos de análisis ecohidrológico**

El “Protocolo de evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región austral del Ecuador” tiene como punto fuerte su aplicación en sitios similares a la red de estaciones de monitoreo y evaluación de sistemas hídricos superficiales de SENAGUA-DHS y ETAPA EP en el sur de Ecuador (Acosta *et al.*, 2014). Estos sitios en conjunto abarcan un extenso rango de condiciones de hábitat fluvial consecuencia de la alta diversidad de niveles climáticos, de la heterogeneidad topográfica, geológica, del uso del suelo, y de la red fluvial en general. Esta metodología se lleva a cabo puesto que las variables analizadas actúan como un fuerte limitante para los elementos que se evalúan en el protocolo: macroinvertebrados, vegetación de ribera, hábitat fluvial y características fisicoquímica de los cuerpos hídricos (Acosta *et al.*, 2014).

De esta manera, es viable su estudio, puesto que en el presente trabajo de titulación el lugar de aplicación perteneciente a la subcuenca del Santa Bárbara es cercana al lugar en donde se empleó en un primer momento, teniendo características semejantes.

### **2.6.1. Protocolo de calidad del hábitat fluvial.**

El protocolo de calidad del hábitat fluvial tiene como fin evaluar las características abióticas y bióticas con mayor peso que se encuentran presentes en el río y que pueden influir en la ausencia, presencia o nivel poblacional de las diferentes agrupaciones de macroinvertebrados. Se considera como un punto clave en el biomonitoreo, puesto que la baja riqueza de familias de macroinvertebrados, en algunos casos, no depende de la intervención antrópica sino por la limitación del propio entorno, por ejemplo, la secuencia de rápidos (Acosta *et al.*, 2014). Es así que en los puntos de muestreo puede llegar a existir un bajo nivel de diversidad de macroinvertebrados por causa natural más no necesariamente de impactos antrópicos.

El índice considera siete apartados:

- Regímenes de velocidad/profundidad
- Inclusión y limitación de sustrato
- Composición del sustrato
- Frecuencia de rápidos
- Elementos de heterogeneidad
- Sombra en el cauce
- Cobertura de vegetación acuática (Acosta *et al.*, 2014).

### **2.6.2. Protocolo de calidad QBR.**

La zona de orilla o ribera forma una franja de intercambio entre el medio terrestre y el acuático con un potencial sustento de una comunidad vegetal particular del lugar, misma que depende de la dinámica de los ríos que determina las características del nivel freático y del suelo. Estas comunidades vegetales de las riberas mantienen una interacción directa con las propiedades del agua, por efecto de la capacidad de retención de sedimentos, nutrientes, contaminantes y materia orgánica que sin su intervención irían directamente al cauce, en especial en sectores de actividad ganadera y agrícola. Asimismo, las comunidades de macroinvertebrados utilizan estos recursos tróficos que se originan en hojarasca y son procesados de forma gradual hasta las desembocaduras río abajo, existiendo un flujo intercambio constante de materia y energía entre la ribera y el cauce (Acosta *et al.*, 2014). De esta forma, la conservación de las riberas va a estar estrechamente relacionada con la comunidad vegetal para establecer la integridad ecológica de los ríos.

Se consideran 4 elementos:

- Grado de naturalidad del canal fluvial
- Grado de cubierta de zona de ribera.
- Calidad de la cubierta de zona de ribera.
- Estructura de la cubierta de zona de ribera (Acosta *et al.*, 2014).

### **2.6.3. Diversidad de especies vegetales.**

Ecuador actualmente es calificado como uno de los 17 países mega diversos (Pauta, 2016). La diversidad biológica de una comunidad tiene dos elementos: la riqueza en primer lugar; y como segundo elemento, la abundancia. Una de las formas que existen para determinar estas comunidades es estableciendo una descripción de especies que la integran con sus respectivas abundancias (Martella *et al.*, 2012).

Alfa diversidad es la variedad de especies de una colectividad específica considerada semejante, la beta diversidad consisten en el nivel de cambio en la constitución de individuos entre diversos conjuntos en un mismo entorno, mientras que la gama diversidad corresponde la riqueza de los grupos que conforman un mismo entorno, se deriva de las alfa y beta diversidades (Moreno, 2001).

*Tabla 6: Resumen de los componentes de biodiversidad alfa, beta y gamma*

Componente	Concepto	Aplicación	Cálculo
Alfa-diversidad	Diversidad interna de una comunidad	Cartografiar biodiversidad. Relacionar parámetros ambientales con biodiversidad	Riqueza de especies Índice de Simpson Índice de Shannon-Wiener Índice de uniformidad de Pielou
Beta-diversidad	Intercambio en la constitución de diferentes comunidades	Medir la variedad de un ecosistema	Coeficientes de similitud (Sorensen cuantitativo y cualitativo) Índice de recambio de especies (Whittaker)
Gamma-diversidad	Variedad de un ecosistema conformado por diferentes comunidades	En mayor escala que la diversidad alfa	Riqueza de especies Relación entre diversidad beta y diversidad alfa

*Fuente: (Ferriol Molina & Merle Farinós, 2013)*

#### **2.6.4. Protocolo de calidad hidromorfológica.**

La ausencia o presencia de los macroinvertebrados asimismo van a depender de aspectos hidromorfológicos. Los organismos se distribuyen según una gradiente altitudinal o de caudal de preferencia, de esta manera es transcendental registrarlos, ya que algunas veces la ausencia de determinados conjuntos se debe a estos factores y no a impactos antrópicos (Acosta *et al.*, 2014).

Se considera la siguiente información:

- Coordenadas geográficas (grados sexagesimales)
- Altitud (m s. n. m.)
- Caudal ( $m^3/s$  o L/s)

#### **2.6.5. Protocolo de calidad fisicoquímica del agua.**

La ventaja de emplear métodos físico-químicos suele ser más rápido, proporcionando una amplia información propiedades del agua, y su monitoreo puede ser con mayor frecuencia (Coello *et al.*, 2015).

Se tiene como objetivo obtener la caracterización fisicoquímica del agua del río, misma que debe ser representativa del espacio en el momento del muestreo biológico, y de esta manera detectar relaciones entre posibles componentes de estrés físico-químicos con los indicadores biológicos (Acosta *et al.*, 2014).

Variables típicas de medición *in situ*:

- Conductividad ( $\frac{\mu S}{cm}$ )
- pH
- Temperatura del agua ( $^{\circ}C$ )
- Oxígeno disuelto ( $\frac{mg}{L}$ )

## Índice de calidad de agua ICA

La calidad del agua ICA, es una expresión usada normalmente, su cuantificación científica resulta de gran importancia y es una estrategia básica para el manejo de recursos hídricos. El término de manejo óptimo de recursos requiere una estandarización predefinida de calidad integral del agua (Jesús et al., 2006). Los índices de calidad de agua ICA proporcionan un valor numérico como resultado del análisis.

Hoy en día los índices que se han venido desarrollando implican desde un parámetro analizado hasta más de 30 y no existe uno mundial sino que va a depender de las condiciones o problemas ambientales específicos de cada lugar (Zhen, 2010). En resumen, la idea es la aplicación de una metodología que se ajuste a la realidad de la zona de estudio.

### **2.6.5.1. Índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICANSF).**

Se ha desarrollado y aplicado diferentes metodologías para clasificar la calidad del agua. De esta manera, en 1970, Brow, MacClelland, Deininger y Tozer, apoyados por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (NSF, por sus siglas en inglés) propusieron un índice basado en la estructura del índice de Horton, conocido como Índice de Calidad de Agua de la NSF (Carrillo & Urgilés, 2016). Siendo el índice más empleado en la calidad de las aguas superficiales para consumo humano a nivel mundial.

El método consistió en combinar la opinión de un conjunto de 142 a través de tres estudios. En la primera fase se consideraron 35 variables de contaminación para su posible inclusión en el ICA, estos fueron calificados en una escala de 1 a 5 (significancia más alta y más baja respectivamente) en tres categorías de acuerdo a si el parámetro debía ser “incluido”, “indeciso” o “no incluido”.

En el segundo estudio se estableció que 9 de las 35 variables fueron identificadas de mayor importancia. Y finalmente en el tercer estudio se elaboraron las Curvas de Función en un rango de 0 a 100.

Las variables que utiliza el índice de calidad de la NSF con mayor importancia son:

1. Oxígeno disuelto % saturación
2. Temperatura
3. DBO
4. Turbiedad
5. Potencial de hidrógeno (pH)
6. Fosfatos
7. Nitratos
8. Sólidos disueltos totales
9. Coliformes fecales

Este índice es mayormente utilizado entre todos los índices de calidad de agua que existen, y puede ser usado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos en el tiempo, en una comparando de la calidad del agua de diferentes segmentos de un mismo río (Carrillo & Urgilés, 2016).

- **Temperatura del agua**

Este parámetro posee importancia en diversos procesos, el aumento de temperatura cambia las características de las sustancias, acrecentando los sólidos disueltos y reduciendo los gases. Su actividad biológica se duplica en 10°, un aumento atípico de la temperatura suele tener su origen en vertidos industriales (Aznar Jiménez, 2000). Las comunidades de macroinvertebrados son sensibles a pequeños incrementos de temperatura (Cedeño & Quinteros, 2016).

- **Oxígeno disuelto**

Este elemento consiste en la cantidad de oxígeno en el sistema acuático. Es una de las características más distintivas del agua y su calidad, puesto que es un parámetro que da sustento a la vida acuática. Los altos niveles de oxígeno disuelto se relacionan a una agua de mejor calidad, por el contrario, una agua con oxígeno disuelto con a menor nivel la supervivencia de organismos y peces se ve imposibilitada (Iriundo Saint-Gerons & Mota Adrados, 2004).

*Tabla 7: Valores de Oxígeno Disuelto e importancia.*

<b>OD (7 a 10) (mg/l)</b>	<b>OD bajo (mg/l)</b>	<b>OD (0) (mg/l)</b>	<b>OD aumento (mg/l)</b>
Población variada de mariposas, peces, insectos, caracoles, etc.	OD = 1mg/l: Incremento de peces toscos, bacterias. OD = 0,5 mg/l: Lombrices de fangos.	Pudrición, bacterias color negro anaeróbicas, malos olores, Muerte organismos acuáticos	Incremento en población de peces, etc. Desinfección natural.

		superiores y peces.	
--	--	---------------------	--

Fuente: (Aguirre, 2011). Elaboración: (Aguirre, 2011)

El porcentaje de saturación, indica la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua, comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura, es decir, en un 100% de saturación contiene el máximo de oxígeno a esa temperatura y en un 50% de saturación tiene solamente la mitad de oxígeno que podría llegar a tener a esa temperatura. Si el agua se mueve de manera rápida se puede llegar a sobresaturar alterando la estructura del sistema hídrico, pero por lo normal dura un corto tiempo (Carrillo & Urgilés, 2016).

Entre los factores que influyen tenemos a: contenido de sales en el agua; la temperatura del agua, de tal manera que la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye a medida que aumenta la temperatura (Peña, 2007), las agua frías tienen una mayor capacidad de oxígeno disuelto que las aguas más cálidas; y la presión atmosférica (y por ende la altitud sobre el nivel del mar), factor determinante en nuestros ríos andinos.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

La concentración del pH enseña con respecto a iones de hidrógeno en los sistemas hídricos, la modificación de éste incide en la vida acuática. El intervalo adecuado para la vida en el agua está entre 6.5 a 8.0 (Samaniego, 2019).

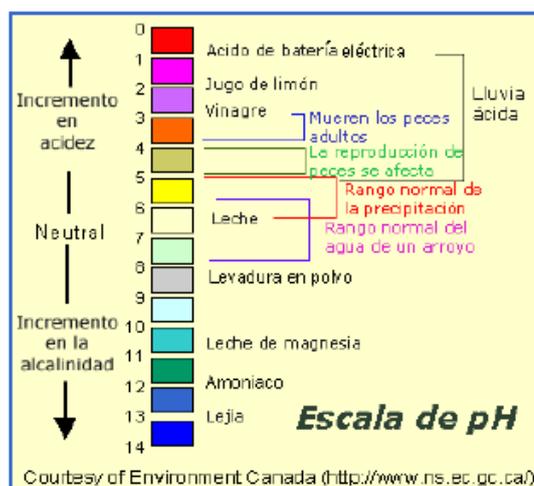


Ilustración 16: Escala de pH

Fuente: (Aguirre, 2011)

- **Conductividad eléctrica del agua**

Este parámetro indica la capacidad de los sistemas acuáticos para llevar a través de iones disueltos una corriente eléctrica. Los iones más negativos son: carbonato, cloruro, bicarbonato, sulfato: los iones más positivos son: potasio, calcio, magnesio y sodio. Se encuentra en el ambiente en forma disuelta; las sales disueltas se descomponen en iones con carga negativa y positiva (Aguirre, 2011).

Tabla 8: Escalas de conductividad para diferentes tipos de agua.

Agua ultra pura	0,055 $\mu\text{S/cm}$
Agua destilada	0,5 $\mu\text{S/cm}$
Agua de montaña	1,0 $\mu\text{S/cm}$
Agua doméstica	500 a 800 $\mu\text{S/cm}$
Max. Para agua potable	1055 $\mu\text{S/cm}$
Agua de mar	56 $\mu\text{S/cm}$
Agua salobre	100 $\mu\text{S/cm}$

Fuente: Adaptación de (Aguirre, 2011).

Estos cuatro parámetros fisicoquímicos en muchos casos son suficiente para el estudio de sistemas hídricos y su calidad, puesto que indican la realidad característica de la zona.

- **DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**

Este parámetro se utiliza como una métrica del oxígeno y su cantidad, necesario para la oxidación de la materia biodegradable como consecuencia de la oxidación aerobia. Se establecen en ambientes estándar de laboratorio a 20°C en un lapso de 5 días, se expresa en mg/l y de ahí se conoce como DBO<sub>5</sub> (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

- **Turbiedad**

Este parámetro se genera debido a la existencia de sólidos suspendidos, mismos que disminuyen la entrada de luz, de esta manera se reduce la fotosíntesis necesaria para la generación de oxígeno. Normalmente puede ser

generada por: la erosión natural de las cuencas y la contaminación por desechos industriales o domésticos (Samaniego, 2019). A una mayor turbidez, menor será la capacidad del lugar de ser un entorno óptimo para las especies acuáticas.

- **Fosfato total**

Los compuestos del fósforo son nutrientes que llevan a la proliferación de algas en las aguas superficiales, de acuerdo a los niveles puede producirse la eutrofización. Suelen provenir: fertilizantes, excreciones humanas y animales, detergentes, entre otros. Encierra al fosfato orgánico e inorgánico (Pütz, 2008).

- **Nitratos**

Los nitratos forman parte del ciclo del nitrógeno, sin embargo, las acciones antrópicas aumentan los niveles sobre todo en el suelo, y por consecuencia de su solubilidad, llega a alcanzar concentraciones significativas en ríos. Existen dos fuentes de contaminación: la puntual y la dispersa. En la primera es debido a las actividades industriales, ganaderas y urbanas (vertidos de residuos), mientras que en la segunda, la contaminación es por la actividad agronómica (Bolaños *et al.*, 2017).

- **Sólidos totales**

Los sólidos totales son los restos que quedan luego de que una muestra se evapora y se deshidrata en la estufa a una concreta temperatura, estos incluyen las sales orgánicas (bicarbonatos, sulfatos, carbonatos, fosfatos, cloruros y nitritos de sodio, potasio, magnesio, hierro y calcio) así como también la materia orgánica (Toasa, 2012). De igual manera, son indicadores para establecer alteraciones geomorfológicas, contaminación y consecuencias del cambio climático (Beltrán & Rangel, 2012).

- **Coliformes fecales**

Forman parte de las bacterias que normalmente se hallan en suelo, los animales y las plantas, incluyendo al ser humano, de forma frecuente se localizan en la superficie sistema hídrico o en los sedimentos del fondo acuático. Este tipo de contaminación es el principal peligro sanitario en el agua, puesto que incluye

microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades (Ramos *et al.*, 2008). En consecuencia, los coliformes fecales son una señal de contaminación, por esta razón es primordial el control sanitario para mantener una salud adecuada de los usuarios.

#### **2.6.6. Monitoreo de macroinvertebrados acuáticos.**

Acciones antrópicas como; la expansión residencial, el desarrollo de embalses, la agricultura así como las variaciones hidrológicas pueden alterar las circunstancias ambientales del agua y perturbar así la presencia de macroinvertebrados acuáticos (Yépez Rosado *et al.*, 2017). En concreto, estas alteraciones que puede sufrir la cuenca hídrica van a implicar una pérdida de la biodiversidad y su integridad ecológica.

La correcta administración agua permite saber la respuesta o el comportamiento frente las diversas intrusiones humanas, habiendo la necesidad de la ejecución de metodologías con bajo impacto económico y rápidas para el análisis de las características del agua (Hahn *et al.*, 2009).

El biomonitoreo es un conjunto de metodologías utilizadas para el análisis de la salud o integridad de un ecosistema a partir del estudio de la reacción y sensibilidad de diversas especies o grupos de especies, conocidas como bioindicadoras, frente a la aparición de alteraciones en el medio (Encalada *et al.*, 2011). En esta técnica se usan bioindicadores, que son individuos en concreto y que puede mostrar signos de estrés ambiental para en el mejor de los casos prever daños ambientales irreversibles.

##### **2.6.6.1. Macroinvertebrados acuáticos.**

Los macroinvertebrados pertenecen a la clase *Insecta* (Cedeño & Quinteros, 2016). Se les pueden ver a simple vista y miden entre 2 mm hasta los 30 cm, proporcionan excelentes señales de calidad de agua y en monitoreos indican claramente el estado en el que se encuentra la zona de estudio, puesto que unos necesitan agua de una calidad buena para poder subsistir; mientras que otros, crecen, se adaptan y abundan cuando existe alteración de los elementos en las aguas (Carrera & Fierro, 2001).

Está conformado por larvas de insectos tales como: chinches, moscas de aliso, caballitos del diablo, libélulas y mosquitos; que comienzan su ciclo de vida en el medio acuático para luego ser de vida terrestre. También forman parte macroinvertebrados como: cangrejos azules, ácaros de agua, conchas, planarias, lombrices de agua, sanguijuelas y camarones de río (Carrera & Fierro, 2001).

Los macroinvertebrados suelen vivir en:

*Tabla 9: Lugares en donde pueden vivir los macroinvertebrados acuáticos*

Hojas flotantes	
Troncos	
Lodo	
piedras	
Agua correntosa o rápidos	
Lagos, lagunas, charcos, pozas y aguas estancadas	

Fuente: Adaptación de (Carrera & Fierro, 2001)

Los macroinvertebrados se pueden alimentar de:

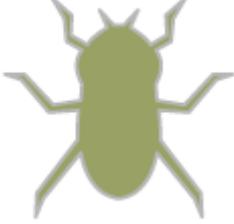
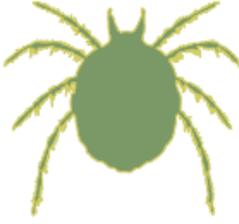
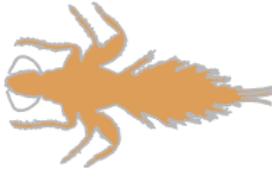
Tabla 10: Fuentes de alimentos de los macroinvertebrados acuáticos.

Plantas acuáticas y algas	
Peces e invertebrados	
Elementos del suelo y restos de comida en descomposición	
Descomposición de animales	
Sangre de animales	
Nutrientes del agua	

Fuente: Adaptación de (Carrera & Fierro, 2001)

Estos macroinvertebrados acuáticos poseen formas variadas, de esta manera: redondas las conchas, de forma ovalada los escarabajos, tienen forma de espiral los caracoles y alargadas las lombrices ; otros poseen varias patas, como son: con 6 los chicaposos, con 8 los ácaros y con 10 los camarones, mientras que las larvas no poseen patas (Carrera & Fierro, 2001).

Tabla 11: Formas más comunes de los macroinvertebrados acuáticos.

Redondeados	Ovalados	Alargados	Espiralados
			
10 patas	8 patas	6 patas	Sin patas
			

Fuente: Adaptación de (Carrera & Fierro, 2001)

Tabla 12: Clasificación de macroinvertebrados según su entorno.

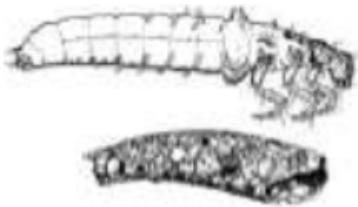
<b>Macroinvertebrados necton</b>	Organismos que nadan libremente en el agua.
<b>Macroinvertebrados neuston</b>	Organismos que habitan en la superficie del cuerpo hídrico rompiendo la tensión superficial.
<b>Macroinvertebrados bentónicos</b>	Organismos que se adhieren a troncos, restos de vegetación, piedras y sustratos en el fondo de los ríos.

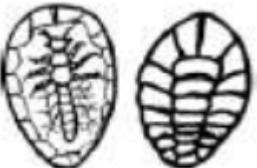
Fuente: Adaptación de (Carrera & Fierro, 2001)

#### 2.6.6.2. Principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos.

En el estudio de macroinvertebrados acuáticos existen grupos (órdenes) que son claves al momento de realizar la caracterización de ecosistemas de agua, las principales órdenes son: *Ephemeropteros*, *Trichópteros*, *Plecópteros*, *Coleópteros*, *Odonatos* y *Dípteros*.

Tabla 13: Principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos

Orden	Características						Rasgos clave
	Nombre común	Familias más frecuentes	Ciclo de vida	Fase indicadora	Alimentación	Hábitat	
<b><i>Ephemeroptera</i></b>	Efimeras	<i>Baetidae</i> , <i>Leptophlebilidae</i> , <i>Leptohyphidae</i> , <i>Caenidae</i>	Ninfas acuáticas y adultos voladores (Hemimetábolos)	Ninfas	Ninfas herbívoras	Lagunas y ríos	Uñas tarsales únicas. Abdomen con cercos alargados y filamento central visible. 
<b><i>Trichoptera</i></b>	Frigáneas	<i>Hidrottilidae</i> , <i>Leptoceridae</i> , <i>Hidropsiphidae</i>	Ninfas y pupas acuáticas y adultos voladores (Hemimetábolos)	Ninfas	Ninfas depredadoras o herbívoras	Aguas rápidas y quietas, ríos	Larvas acuáticas construyen un "estuche" que varía según la familia 

<b><i>Plecóptera</i></b>	Moscas de las piedras	<i>Perlidae</i>	Hemimetábolos (ninfas acuáticas y adultos voladores)	Ninfas, muy sensibles a la contaminación	En últimos instares ninfas carnívoras	Aguas turbulentas y lechos de grava	Uñas tarsales pares. Multiarticulados o abdomen con un par de cercos sencillos. 
<b><i>Coleóptera</i></b>	Escarabajos	<i>Elmidae, Ptylodactilidae, Phesenidae, Dytiscidae, Hydrophilidae</i>	Larvas, pupas y adultos (Holometábolos)	Larvas	Ninfas herbívoras y depredadoras	Amplio rango indicativo: salinidad, zonas lacustres	Disponen de apéndices filamentosos (branquias). Patas grandes y caminan por el fondo del agua. 

<b>Odonata</b>	Libélulas, caballitos del diablo	<i>Libellulidae</i> , <i>Coenagrionidae</i>	Hemimetáboles (Larvas acuáticas y adultos voladores)	Larvas	Ninfas depredadoras	Aguas quietas	Ojos compuestos prominentes. Branquias plumosas externas en la parte posterior del abdomen 
<b>Díptera</b>	Moscas, mosquitos	<i>Psychodidae</i> , <i>Athericidae</i> , <i>Blephariceridae</i> <i>Simuliidae</i> , <i>Tipulidae</i> , <i>Dixidae</i> ,	Holometábolos (Huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores)	Larvas	Larvas filtradoras y voladoras	Aguas estancadas	Larva pequeña con protuberancias a los lados del cuerpo 

Fuente: Adaptación de (Aguirre, 2011)

### 2.6.6.3. ABI (Índice Biótico Andino).

El ABI (Índice Biótico Andino), se usa para analizar el agua y su calidad; y la totalidad ecológica de ecosistemas de agua andinos. Se determinan puntajes de 1 a 10 para cada familia registrada en el muestreo, 1 para las familias con mayor tolerancia, y 10 para las de mayor sensibilidad; y el total de todos los valores registrados de las familias en el lugar de estudio equivalen al puntaje ABI total (Encalada *et al.*, 2011). Los macroinvertebrados acuáticos, por su alta diversidad, abundancia y grado de adaptabilidad son importantes en los ecosistemas acuáticos, tanto para la materia orgánica en su proceso de descomposición así como una importante fuente de alimento que llegan a ser para depredadores superiores (González *et al.*, 2018). En resumen, mediante la información taxonómica a nivel de familia es que se pueden usar como bioindicadores de la calidad sistemas hídricos a los macroinvertebrados.

Tabla 14: Puntaje e interpretación del ABI

ABI	Calidad de agua
<35	Malo
35-58	Regular
55-96	Bueno
>96	Muy bueno

Fuente: (Encalada *et al.*, 2011)

Elaboración: (Encalada *et al.*, 2011)

## 2.7. Cuerpos legales aplicables

- Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. TULSMA, libro VI.
- Constitución del Ecuador 2008.
- Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Tipo de estudio

Se realizó un trabajo cuantitativo, práctico, y de campo, el cual comprende el análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en los cantones de Sígsig, Chordeleg y Gualaceo que forman parte de la subcuenca del río Santa Bárbara; con el fin de determinar su calidad ecológica.

#### 3.2. Población y muestra

- **Población:** Ríos y quebradas de la Subcuenca del río Santa Bárbara en los cantones de Sígsig, Chordeleg y Gualaceo.
- **Muestra:** Cinco puntos de muestreo representativos a lo largo de la subcuenca del río Santa Bárbara.

#### 3.3. Zona de estudio - Ubicación

Se realizó un recorrido de campo para seleccionar los sitios de monitoreo, lo que consintió en establecer los espacios del río de la subcuenca más característicos; para de esta manera ubicar los puntos de muestreo.

De acuerdo a las observaciones en el campo y sobre todo la accesibilidad, se determinaron 5 puntos de muestreo en el río, cuyas coordenadas y zonas se indican en la Ilustración 17 y Tabla 15.

Tabla 15: Puntos de muestreo y coordenadas

PUNTO DE MUESTREO	ZONA	UTM (COORDENADAS)		ALTITUD (m s. n. m.)
		X	Y	
PM <sub>01</sub>	<b>Zona minera San Sebastián (Sígsig)</b>	746862	9658098	2551
PM <sub>02</sub>	<b>Puente de La Unión (Sígsig)</b>	743435	9667101	2311

PM <sub>03</sub>	<b>Sector puente de San Juan (Chordeleg)</b>	745542	9674554	2266
PM <sub>04</sub>	<b>Puente de Bimbabum (Gualaceo)</b>	746659	9678068	2236
PM <sub>05</sub>	<b>Certag (Gualaceo)</b>	747864	9682499	2220

Elaboración: El autor

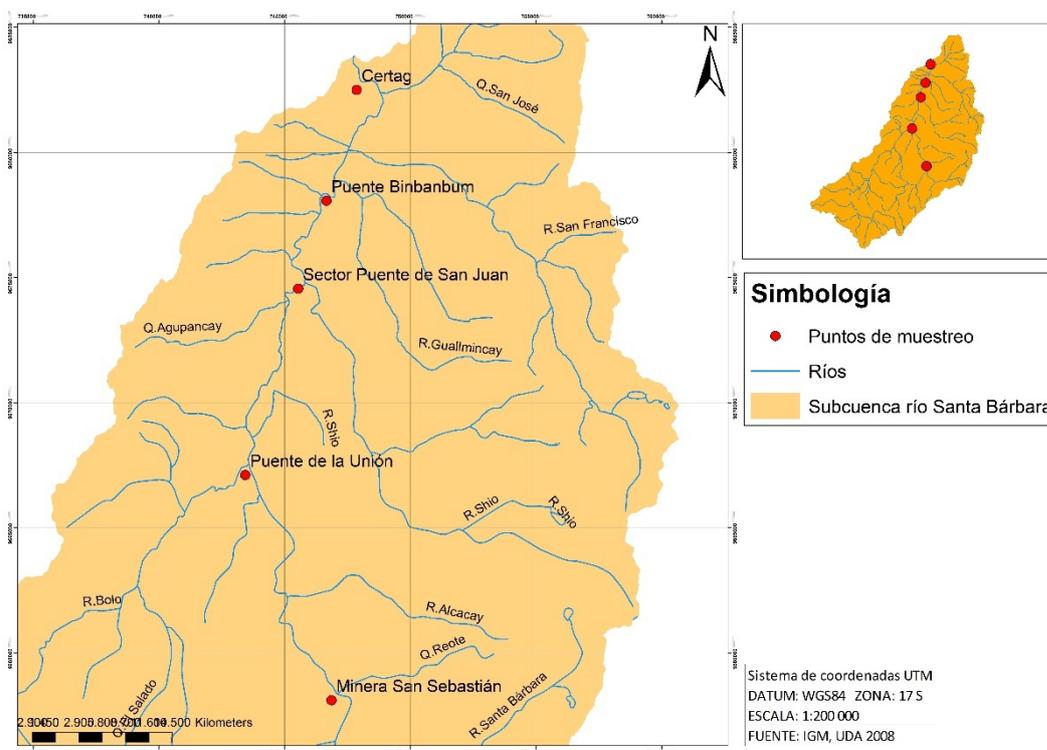


Ilustración 17: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo

Elaboración: El autor

El punto de muestreo PM<sub>01</sub> (Ilustración 18) se encuentra en la zona de la explanada de la Zona minera San Sebastián en el sector denominado Infiernillos en la parte alta del cantón Sígsig. En este punto históricamente aguas arriba y abajo se han ubicado emplazamientos mineros tanto metálicos, así como áridos y pétreos, aunque hoy en día la mayoría de ellos ya no laboran, todavía se evidencian remanentes a causa de esta actividad; sin embargo, aún existe minería ilegal en las partes altas de la subcuenca.



*Ilustración 18: Zona minera San Sebastián, PM<sub>01</sub>*

*Elaboración: El autor*

Respecto al punto de muestreo PM<sub>02</sub>, este se encuentra en el sector del puente de La Unión entre las vías que se dirigen hacia Cuenca tanto por Gualaceo, así como por San Bartolomé (Ver Ilustración 19), cabe mencionar que en esta zona todavía se pueden ver familias que lavan la ropa en las orillas del río.



*Ilustración 19: Sector puente de la Unión, PM<sub>02</sub>*

*Elaboración: El autor*

El punto de muestreo  $PM_{03}$  corresponde al sector del puente de San Juan en la entrada al cantón Chordeleg (Ilustración 20).



*Ilustración 20: Sector puente de San Juan,  $PM_{03}$*

*Elaboración: El autor*

El punto de muestreo  $PM_{04}$  (Ilustración 21) pertenece a la zona del puente de Bimbabum que se ubica en la entrada hacia el cantón Gualaceo, en donde hace años atrás en esa zona funcionaba una fábrica de coca cola, aunque hoy en día este ya no se encuentra en funcionamiento.



*Ilustración 21: Sector puente Bimbabum,  $PM_{04}$*

*Elaboración: El autor*

Con respecto al punto de muestreo PM<sub>05</sub> (Ilustración 22) este se encuentra en el sector del puente de Certag, mismo lugar conocido por su gastronomía típica del sector, aguas debajo de este punto termina la subcuenca del río Santa Bárbara puesto que se une al río Paute.



*Ilustración 22: Sector puente de Certag.*

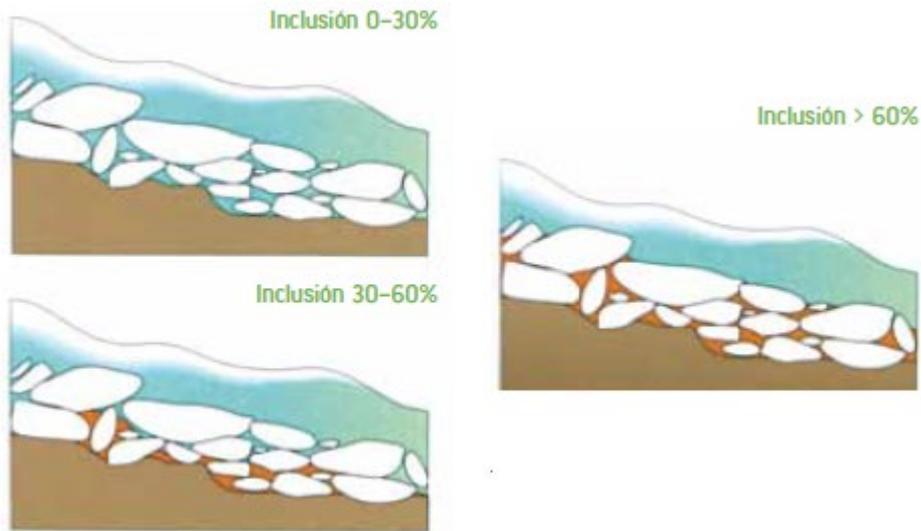
*Elaboración: El autor*

Los puntos de muestreo fueron seleccionados por ser de un fácil acceso y puesto que el Ministerio del Ambiente y Agua realiza los estudios de calidad de agua en esos puntos.

### **3.4. Análisis de la calidad de hábitat fluvial IHF**

Se evaluaron 7 parámetros mediante observación:

- 1) Inclusión y limitación del sustrato:** Hace referencia a los sedimentos presentes entre el sustrato mineral en zonas de rápidos, es importante ya que si se encuentran en excesos estos limitan la colonización de macroinvertebrados (Acosta *et al.*, 2014).



*Ilustración 23: Grado de inclusión de los sustratos*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

- 2) Frecuencia de rápidos:** Las zonas de rápidos son adecuadas para la colonización de macroinvertebrados, por lo tanto, mientras más rápidos existan mayor será el puntaje (Acosta *et al.*, 2014).



Alta frecuencia de rápidos

Escasa frecuencia de rápidos

Flujo laminar constante

*Ilustración 24: Frecuencia de rápidos*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

- 3) Regímenes de velocidad / profundidad:** La presencia de diversos sustratos favorece la presencia de macroinvertebrados, según la representatividad del sustrato se obtiene el puntaje (Acosta *et al.*, 2014).



Bloques y piedras

Grava

Arena

*Ilustración 25: Composición del sustrato*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

- 4) Velocidad – profundidad (Regímenes):** Se evalúa los tipos de velocidades y profundidades, para ello se consideran, someros cuando no superan los 0,5m y lentos a los inferiores a 0,3m/s o los que sean pozos o flujo laminar (Acosta et al., 2014).



Lento profundo

Rápido profundo

Rápido somero

*Ilustración 26: Regímenes de velocidad/profundidad*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

- 5) Sombra en el cauce:** Indica el efecto de la radiación solar en el cauce y el material proveniente de las riberas en forma de hojarasca, estos elementos actúan en la temperatura y disponibilidad de alimento para diversos grupos de organismos (Acosta et al., 2014).



Totalmente expuestos

Totalmente en sombra

Grandes claros

*Ilustración 27: Sombra en el cauce*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

**6) Heterogeneidad - Elementos:** Se valora la presencia de diferentes elementos que determinan un hábitat más complejo incrementando la presencia de macroinvertebrados, estos elementos incluyen: ramas, raíces expuestas, hojarasca, diques naturales y troncos (Acosta et al., 2014).



Hojarasca y ramas

Raíces expuestas

Diques naturales

*Ilustración 28: Elementos de heterogeneidad*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

**7) Cobertura de vegetación acuática:** Las especies vegetales acuáticas, además de su importancia en la cadena trófica, generan un incremento del área de colonización. Incluye tres grupos de vegetales acuáticos: el plocon (algas filamentosas), briófitas o musgos y el pecton (microalgas aplanadas, laminares o esféricas adheridas a las piedras) (Acosta et al., 2014).



Plocon: algas filamentosas

Briófitas: musgos

Pecton

*Ilustración 29: Cobertura de vegetación acuática*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

Esta información se registra en la tabla correspondiente al **Anexo 3**.

Los puntajes de este índice se tratan en tres niveles: de 0 a 30 un mal hábitat fluvial, de 40 a 60 un estado regular, y, de 70 a 100 un óptimo hábitat fluvial; el resultado es el total de la puntuación conseguida en cada apartado y no puede ser mayor que 100 (Palma et al., 2009).

*Tabla 16: Establecimiento de la calidad para el puntaje IHF*

Puntuación	Estado
70 – 100	Óptimo
40 - 60	Regular
0 - 30	Malo

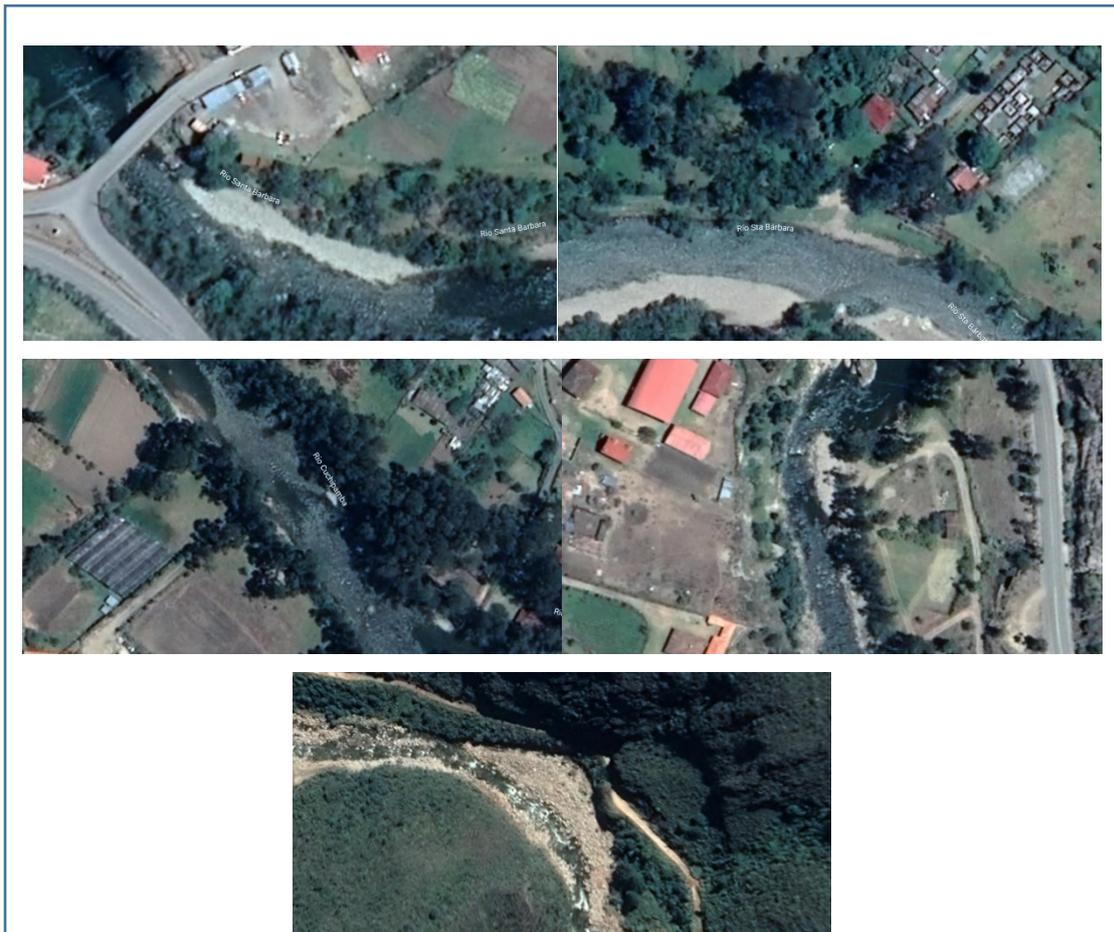
*Fuente: (Palma et al., 2009)*

*Elaboración: El autor*

A continuación, se muestran imágenes satelitales de los puntos de muestreo en donde se indica espacialmente las zonas de río y ribera analizadas.



*Ilustración 30: Imagen satelital de los puntos muestreados*

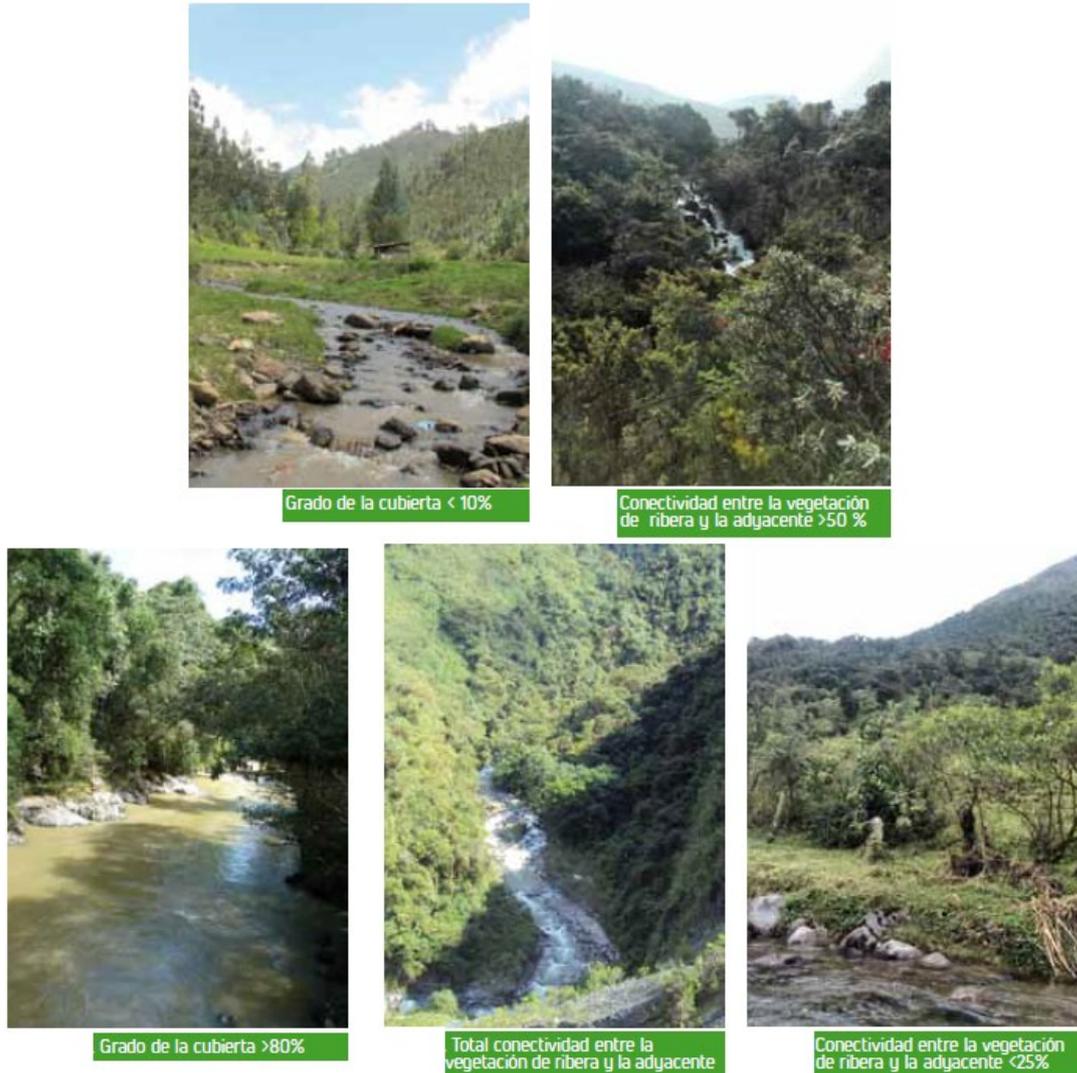


*Ilustración 31: Imagen satelital PM<sub>01</sub>, PM<sub>02</sub>, PM<sub>03</sub>, PM<sub>04</sub>, PM<sub>05</sub>; respectivamente.*

### 3.5. Análisis de la calidad QBR (vegetación de ribera)

Se evaluaron 4 parámetros mediante observación:

- 1) **Grado de cubierta para la zona de ribera:** Se evalúa la el grado de cobertura vegetal para cada margen del río, considerando sólo especies arbóreas y arbustivas; de igual manera se evalúa el ecosistema forestal adyacente con el bosque de ribera y su interacción (Acosta *et al.*, 2014).



*Ilustración 32: Grado de cubierta para la zona de ribera*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

- 2) **Cubierta de la zona de ribera - Estructura:** Analiza las especies que conforman la ribera según sean especies arbóreas o arbustivas; también se observa la linealidad de árboles y su distribución (Acosta *et al.*, 2014).



Recubrimiento de árboles >75%



Concentración de arbustos >50% (margen izquierda) y <25% (margen derecha)



Recubrimiento de la ribera sin árboles ni arbustos



Presencia de epifitas (bromelias)

*Ilustración 33: Estructura de la cubierta de la zona de ribera*

*Fuente: (Acosta et al., 2014)*

- 3) Calidad de la cubierta de ribera:** Se evalúan la calidad de la cobertura, es decir, si son especies nativas o introducidas (Acosta et al., 2014).



Más del 51% de las especies de ribera son introducidas



Presencia de cultivos



Presencia de pastizales y ganadería

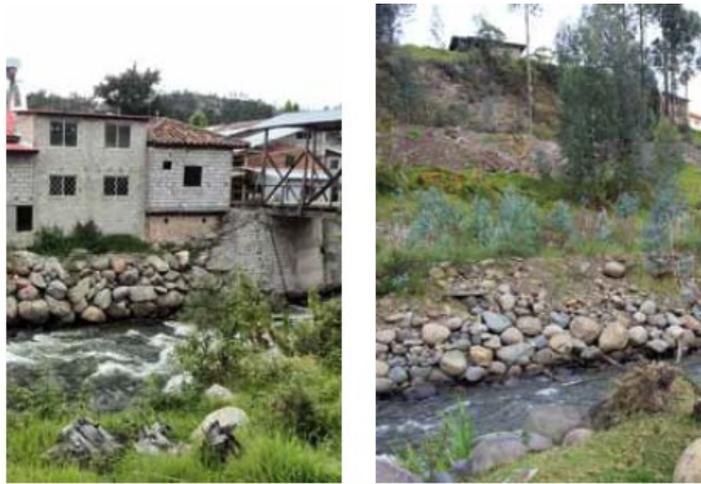


Presencia de senderos y construcciones.

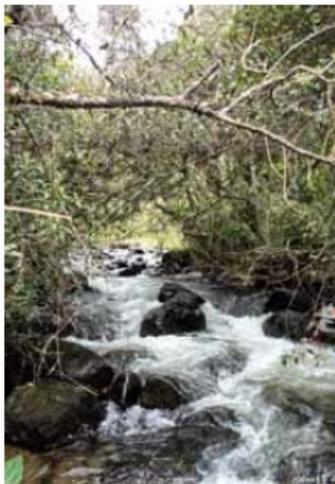
Ilustración 34: Calidad de la cubierta de ribera

Fuente: (Acosta et al., 2014)

- 4) **Nivel del canal fluvial - Naturalidad:** En este apartado se evalúa si el cauce del cuerpo hídrico es natural o si ha sufrido alguna modificación en su cauce o en los niveles contiguos (Acosta et al., 2014).



Modificación de las terrazas con reducción del canal



Canal del río no ha sido modificado



Presencia de infraestructura transversal que modifica el canal del río



Ilustración 35: Grado de naturalidad del canal fluvial

Fuente: (Acosta et al., 2014)

La información se registró en la tabla del **Anexo 4**.

Los valores del índice se distribuyen en 5 niveles:

Tabla 17: Establecimiento de calidad para el puntaje QBR

Puntuación	Estado
< 25	Degradación extrema - Calidad pésima
30 - 50	Alteración fuerte - Calidad mala
70 - 55	Inicio de alteración importante - Calidad aceptable
90 - 75	Bosque ligeramente perturbado - Calidad buena
> 95	Bosque de ribera sin alteraciones - Estado natural

Fuente: (Palma et al., 2009)

Para el análisis de la biodiversidad de bosque de ribera se realizó un muestreo de la flora más representativa de los puntos de muestreo con un análisis mediante la técnica del área mínima, la cual consiste en formar áreas de 1 m<sup>2</sup>, 2 m<sup>2</sup>, 4 m<sup>2</sup>, 8 m<sup>2</sup> y 16 m<sup>2</sup> (Mendoza, 2013)., en la orilla del cauce. Se tomó en cuenta solamente el análisis de árboles y arbustos.

Para procesar la información obtenida se realizará mediante el programa de computador gratuito PAST 4.04.

### 3.6. Análisis de la calidad hidromorfológica

Se evalúan los siguientes parámetros:

- Coordenadas geográficas (grados sexagesimales)
- Altitud (m s. n. m.)
- Caudal (m<sup>3</sup>/s o l/s)

El río eleva o disminuye su caudal ya que al ser un río de montaña se alimenta de quebradas y ríos pequeños. Para medir el caudal se realizó por la metodología del flotador, que trata en tirar un objeto que pueda flotar al río, cronometrar su distancia recorrida, realizar la medición de la profundidad promedio y el cálculo del área transversal, de esta manera se calcularon los caudales en cada punto de muestreo (Aguirre, 2011).

*Ecuación 1: Fórmula para cálculo de la velocidad del río*

$$Velocidad = \frac{Distancia\ AB\ (metros)}{Tiempo\ (segundos)}$$

Para la medición del ancho del río se procedió a realizar con una cinta métrica, y con respecto a la profundidad se dividió al río en secciones y se realizó la medida con una cinta métrica,

*Ecuación 2: Cálculo de la profundidad media – Fórmula*

$$h_m = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{h_4}$$

*Ecuación 3: Fórmula para el cálculo del área transversal*

$$A_T = \text{Ancho (m)} \times h_m \text{ (m)}$$

De acuerdo al río en estudio se procedió a escoger el factor k de la siguiente tabla:

*Tabla 18: Factor de correlación (k)*

Tipo de río o canal	Factor k
<b>Ríos o canales de tierra, profundidades menores a 15 cm</b>	0,5 a 0,25
<b>Río o riachuelo, profundidad del agua mayor a 15 cm</b>	0,5
<b>Canal de tierra, profundidad del agua mayor a 15 cm</b>	0,7
<b>Canal revestido en concreto, profundidad del agua mayor a 15 cm</b>	0,8

*Fuente: (Aguirre, 2011)*

Con todos los datos obtenidos se procedió a calcular el caudal.

*Ecuación 4: Cálculo el caudal del río – Fórmula*

$$\text{Caudal} \left( \frac{m}{s} \right) = k \times \text{Velocidad} \left( \frac{m}{s} \right) \times \text{Área} (m^2)$$

### **3.7. Análisis de macroinvertebrados acuáticos**

Para llevar a cabo los monitoreos principalmente se consideraron las precipitaciones según los datos del INAMHI (Ver Ilustraciones 5 y 14) pertenecientes a 2 estaciones (SÍGSIG M0424 Y GUALACEO M0139) meteorológicas más cercanas a la zona de estudio. Se realizaron dos repeticiones; la primera corresponde al mes de noviembre con precipitaciones elevadas en la estación M0424 y M0139; y, el segundo muestreo en diciembre con precipitaciones bajas registradas históricamente en las estaciones M0424 y M0139. Se ejecutó una muestra para cada punto.

En primera instancia se realizó el recorrido en el punto de muestreo para establecer los microhábitats para ser muestreados, tomando en cuenta tanto los sustratos minerales (piedras, grava, bloques, cantos, etc.) como los sustratos orgánicos (bríofitos, raíces expuestas, hojarasca, micrófitos, etc.)

- Muestras - Recolección.

Las muestras de los macroinvertebrados y su recolección , este fue realizado con una red de marco cuadrado de 500 micras y mediante la metodología de la patada (Acosta *et al.*, 2014), que consiste en colocarse contracorriente y patear el fondo del río de esta manera el sustrato se remueve. Se consideraron un total de 8 réplicas de 1m<sup>2</sup>, cubriendo toda el área de muestreo y sin exceder los 2 minutos por réplica, de igual manera se procedió a levantar las piedras y hojarascas ya que algunos organismos pueden estar adheridos a las mismas.

Las muestras se depositan en una bandeja con fondo blanco, se excluye el sustrato mineral y orgánico para poder separar los organismos del sustrato más fino con el uso de un cernidor. Finalmente, la muestra obtenida se depositó en un frasco plástico hermético y se agregó alcohol. Cada frasco fue etiquetado con el punto de muestreo, hora y fechas correspondientes.

En la fase de laboratorio, la muestra fue lavado con agua, se distribuyó en cajas petri y con la ayuda de una pinza se separó a los macroinvertebrados e identificó a nivel familia a través del estereoscopio (Anexo 11).

### 3.7.1. Índice Biótico Andino ABI

Luego de haber realizado la identificación según su nivel taxonómico de familia de los macroinvertebrados, se procede a encontrar el total, mismo que va desde una puntuación menor a 35 de mala calidad hasta puntuaciones mayores a 96 que indican una calidad muy buena, tal y como se muestra a continuación.

Tabla 19: Tabla de equivalencia ABI

ABI	Calidad de agua
<35	Malo
35-58	Regular
55-96	Bueno
>96	Muy bueno

Fuente: (Encalada *et al.*, 2011)

La zona al no contar con estudios anteriores similares, la estación de referencia será el punto de muestreo que tenga mejor calidad.

- Coeficiente de correlación:

Se realizó mediante una hoja de cálculo en Excel con el uso de la instrucción de correlación de Pearson, el software calcula el coeficiente de correlación entre dos variables mediante un valor  $r^2$ .

En el presente trabajo se hizo de los valores del ABI con los resultados de los parámetros muestreados, y se determinó si existe o no correlación, pertenece a una relación perfecta si los valores son +1 o -1; una relación inversa si es negativa; y corresponde a una relación directa si el resultado es positivo (Samaniego, 2019).

*Tabla 20: Escala de interpretación de la correlación*

Positiva perfecta	+1
Positiva moderada fuerte	>+0.51
Positiva débil	0.26 a 0.50
Baja o nula	0 a 0.25
Negativa débil	-0.26 a -0.50
Negativa fuerte moderada	>-0.510
Negativa perfecta	-1

*Fuente:* (Samaniego, 2019)

### **3.8. Medición del oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua y conductividad eléctrica**

La temperatura del agua, oxígeno disuelto, el pH y conductividad eléctrica fueron medidos en el campo en cada punto de muestreo con el uso del equipo portátil multiparamétrico marca Hach hq30d, para de esta manera conocer la influencia sobre las comunidades de macroinvertebrados (Cedeño & Quinteros, 2016).

### **3.9. Análisis de calidad fisicoquímica y microbiológica - Aplicación del ICA-NSF**

Para calcular el valor del ICA-NSF se utilizará el método multiplicativo, para su determinación se asignan factores de ponderación a cada parámetro evaluado (Samaniego, 2019). Se aplica la siguiente fórmula:

*Ecuación 5: Fórmula para calcular el ICA-NSF*

$$ICA_{NSFm} = \prod_{i=1}^{n=9} li^{Wi}$$

En donde:

- ICAm: índice de calidad multiplicativo
- i: cada uno de los parámetros de calidad elegidos
- li: factor de escala, depende de la magnitud del parámetro
- Wi: factor de importancia o ponderación del parámetro i con relación a los parámetros que conforman el índice

En la siguiente tabla se indican la importancia asignada a cada parámetro:

*Tabla 21: Ponderación para cada parámetro del ICA-NSF*

<b>Parámetro</b>	<b>Peso relativo <math>W_i</math></b>
Oxígeno disuelto % saturación	0,17
Coliformes fecales	0,16
pH	0,11
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	0,11
Fosfatos	0,1
Nitratos	0,1
Temperatura	0,1
Turbiedad	0,08
Sólidos disueltos totales	0,07

Fuente: (Samaniego, 2019)

Cada parámetro posee una curva estandarizada, a partir del valor del parámetro (i) se obtiene el subíndice (li), proporcionando una curva donde en el eje de las abscisas se ubican los niveles de la variable concreta y en el eje de las ordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, el cual está en el rango de 0 y 100 (Carrillo & Urgilés, 2016).

De esta manera, se calculan los subíndices (li), con sus curvas promedio para cada parámetro:

- 1) Si DBO<sub>5</sub> es mayor a 30 mg/l el  $I_1$  es igual a 2, si es menor a 30 mg/l se busca el valor en la Ilustración 9 mediante interpolación; el valor encontrado de  $I_1$  luego se multiplica por su peso  $W_1$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

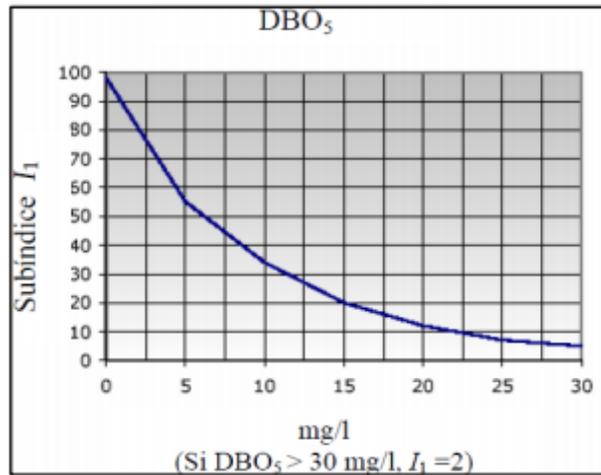


Ilustración 36: Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 2) Para el Oxígeno Disuelto se debe calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua, en donde se encuentra el valor de la saturación OD de acuerdo a la altitud y temperatura como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 22: Concentraciones de oxígeno en equilibrio a varias altitudes y temperaturas

VALORES DE OXÍGENO DISUELTO SATURADO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA Y TEMPERATURA											
ALTURA (m)	TEMPERATURA °C										
	6	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
1900	10.34	9.8	9.31	8.86	8.44	8.06	7.7	7.38	7.07	6.79	6.53
2000	10.21	9.68	9.2	8.75	8.34	7.96	7.61	7.28	6.98	6.70	6.44
2100	10.08	9.56	9.08	8.64	8.23	7.86	7.51	7.19	6.89	6.61	6.35
2200	9.95	9.44	8.97	8.53	8.13	7.76	7.41	7.10	6.80	6.53	6.27
2300	9.83	9.32	8.85	8.42	8.02	7.66	7.32	7.01	6.72	6.44	6.19
2400	9.70	9.20	8.74	8.32	7.92	7.56	7.23	6.92	6.63	6.36	6.11
2500	9.58	9.09	8.63	8.21	7.82	7.47	7.13	6.83	6.54	6.28	6.03
2600	9.46	8.97	8.52	8.11	7.72	7.37	7.04	6.74	6.45	6.20	5.95
2700	9.34	8.86	8.42	8.00	7.63	7.28	6.95	6.66	6.38	6.12	5.88
2800	9.23	8.75	8.31	7.90	7.53	7.18	6.87	6.57	6.30	6.04	5.80
2900	9.11	8.64	8.20	7.80	7.43	7.09	6.78	6.49	6.22	5.96	5.72
3000	9.00	8.53	8.10	7.71	7.34	7.00	6.69	6.4	6.14	5.89	5.65
3100	8.88	8.42	8.00	7.61	7.25	6.91	6.61	6.32	6.06	5.81	5.58
3200	8.76	8.31	7.90	7.51	7.16	6.82	6.53	6.24	5.98	5.73	5.51

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

Si el porcentaje de saturación del OD es mayor a 140% el  $I_2$  es 50, si es menor al 140 de saturación de OD se busca el valor en el eje X e interpola el valor en el eje Y. El valor que se encuentra es  $I_2$  de Oxígeno Disuelto el cual se multiplica por su peso  $W_2$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

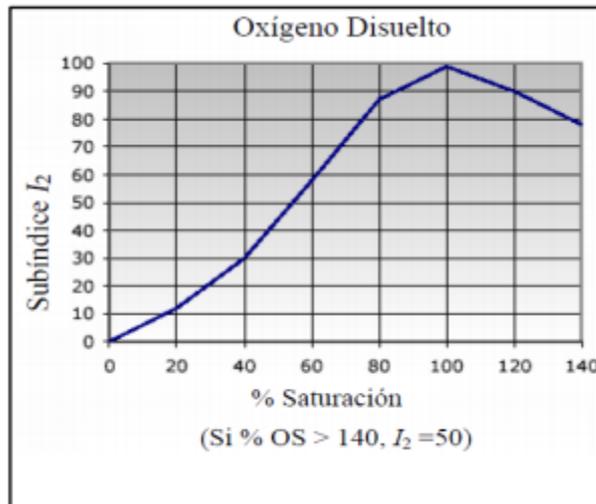


Ilustración 37: Valoración de la calidad del agua en función del % de saturación del OD

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 3) Si el PH es menor a 2 o mayor a 12 el  $I_3$  es igual a 0, si el valor está fuera del rango, buscar en el valor en el eje X e interpolar con el eje Y. El valor que se encuentra es el  $I_3$  de pH y se multiplica por su peso  $W_3$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

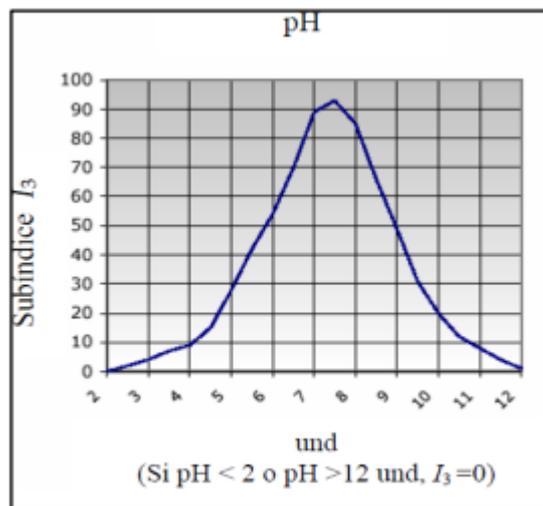


Ilustración 38: Valoración de la calidad de agua en función del pH

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 4) Si la turbidez es mayor a 100 NTU el  $I_4$  es igual a 5, si es menor que 100 NTU buscar el valor en el eje X e interpolar con el eje Y. El valor encontrado es el  $I_4$  de turbiedad y se multiplica por su peso  $W_4$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

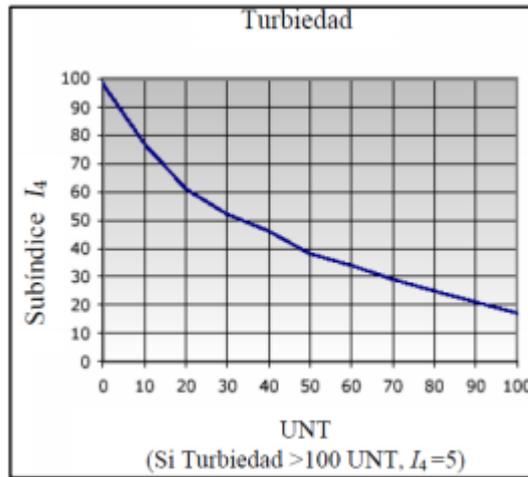


Ilustración 39: Valoración de la calidad de agua en función de la turbiedad

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 5) Si el valor de fosfatos es mayor a 10 mg/l el  $I_5$  es igual a 2, si es menor a 10 mg/l se busca el valor en el eje X y se interpola con el eje Y. El valor encontrado es el  $L_5$  y se multiplica por su peso  $W_5$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

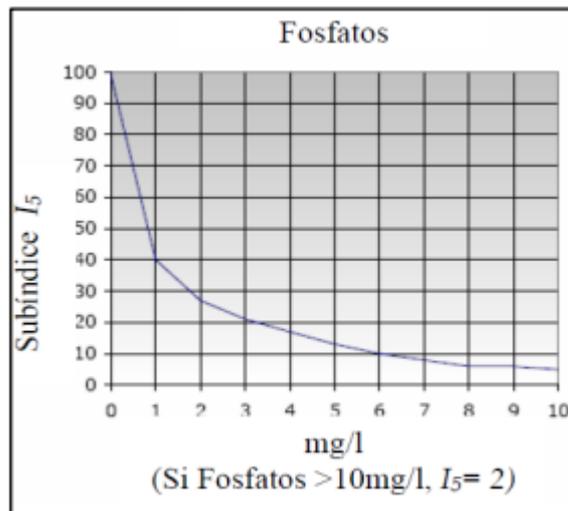


Ilustración 40: Valoración de la calidad de agua en función de los fosfatos

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 6) Si el valor de nitratos es mayor a 100 mg/l el  $I_6$  es igual 1, si es menor a 100mg/ buscar el valor en el eje X e interpolar con el eje Y. El valor encontrado es  $I_6$  y se multiplica por su peso  $W_6$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

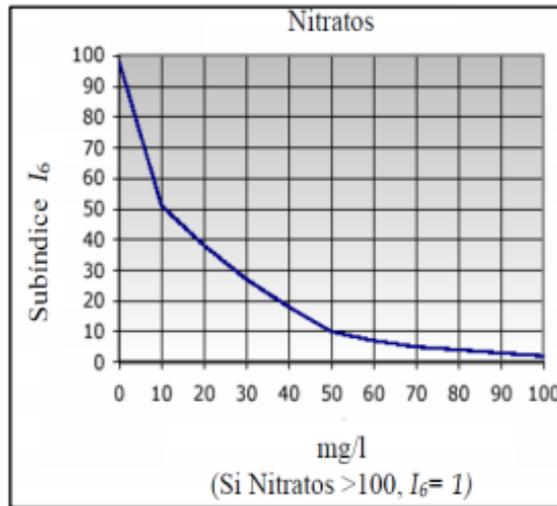


Ilustración 41: Valoración de la calidad de agua en función de los nitratos

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 7) Para la temperatura  $I_7$  se debe hacer la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra. Si el valor de esa diferencia es mayor a  $15^{\circ}\text{C}$   $I_7$  es igual a 5, si es menor a  $15^{\circ}\text{C}$  se busca el valor en el eje X se interpola con el eje Y. El valor encontrado es el  $I_7$  de temperatura y se multiplica por su peso  $W_7$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

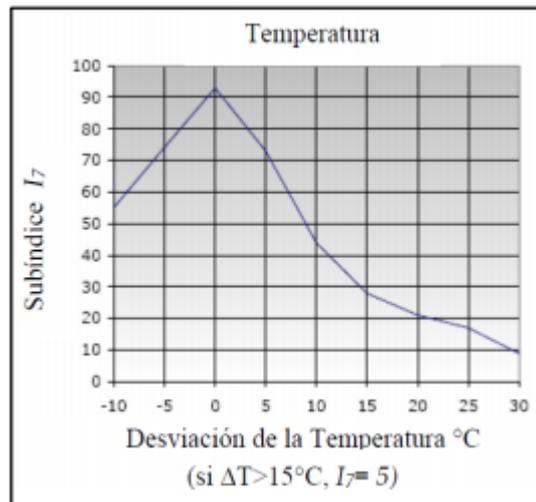


Ilustración 42: Valoración de la calidad de agua en función de la variación de temperatura

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 8) Si los coliformes fecales son mayores a  $10^5$  NMP/100 ml el  $I_8$  es igual a 2, si el valor es menor a  $10^5$  NMP/100 ml buscar el valor en el eje X e interpolar con el eje Y. El valor encontrado es el  $I_8$  de coliformes fecales y se multiplica por su peso  $W_8$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

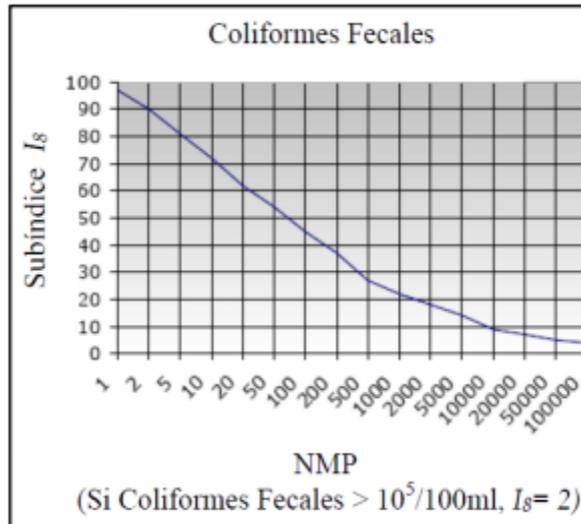


Ilustración 43: Valoración de la calidad de agua en función de los coliformes fecales

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

- 9) Si los sólidos disueltos totales son mayores a 500 mg/l el  $I_9$  es igual a 20, si es menor a 500 mg/l buscar el valor en el eje X e interpolar con el eje Y. El valor encontrado es el  $I_9$  de los SDT y se multiplica por su peso  $W_9$  (Carrillo & Urgilés, 2016).

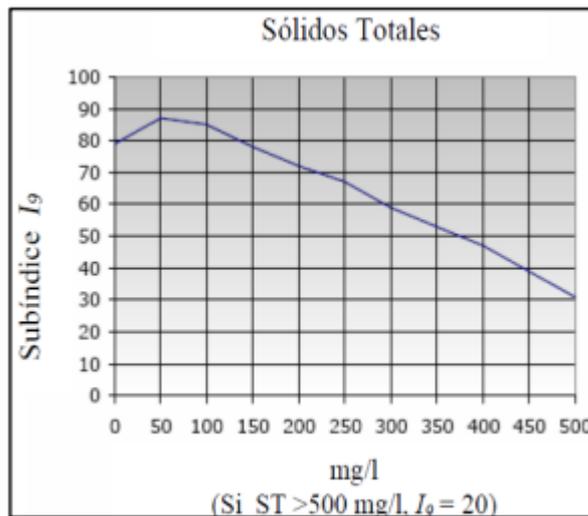


Ilustración 44: Valoración de la calidad de agua en función de los SDT

Fuente: (Carrillo & Urgilés, 2016)

Una vez se hayan obtenidos los resultados de cada subíndice se procede a aplicar la fórmula (1) para determinar el índice de calidad en cada punto de muestreo, y así posteriormente clasificar la calidad del agua de acuerdo a los rangos establecidos por el modelo NSF como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 23: Escala de clasificación de la calidad de agua ICA-NSF

Puntuación	Clasificación
------------	---------------

91 – 100	Calidad excelente (A)
71 – 90	Calidad buena (B)
51 – 70	Calidad media ©
26 – 50	Calidad mala (D)
0 – 25	Calidad muy mala (F)

Fuente: Adaptación de (Samaniego, 2019)

Para calcular el valor se utilizaron los datos obtenidos por el Ministerio del Ambiente y Agua, para lo cual se corrió el modelo ICA<sub>NSF</sub> para calidad de agua desarrollado por la NSF (Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos) en la siguiente página web: <https://water-research.net>

### Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	
Fecal Coliform	0.16	
pH	0.11	
Biochemical oxygen demand	0.11	
Temperature Change	0.10	
Total Phosphate	0.10	
Nitrates	0.10	
Turbidity	0.08	
Total Solids	0.07	

Your IP Address:   
 Factors Entered:   
 Overall Water Quality Index:

Calculate overall WQI

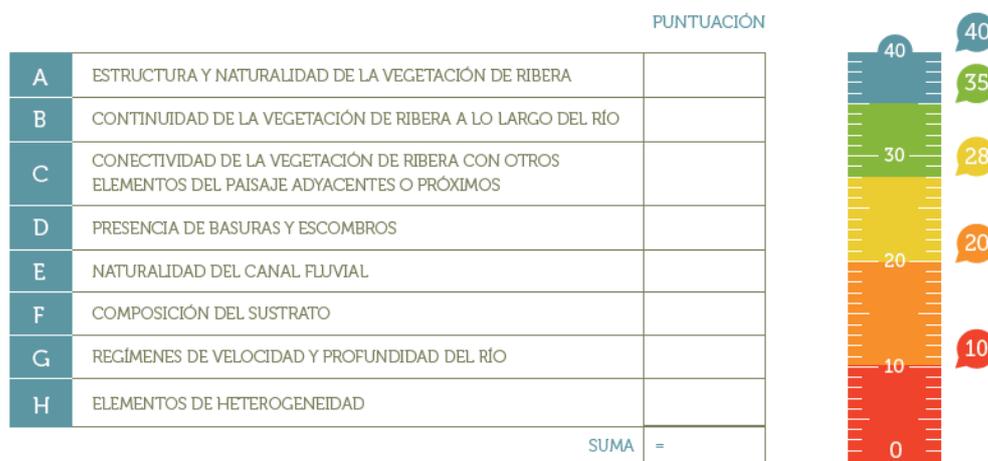
Ilustración 45: Sitio web para el cálculo del ICA NSF

Fuente: Adaptación de (Aguirre, 2011)

Que consiste en ingresar los valores de cada uno de los parámetros analizados y de forma automatizada se correrá el modelo y nos dará el ICA-NSF (índice de calidad de agua) como resultado, de esta forma ahorrarnos todos los cálculos que normalmente se hacen de forma manual.

### 3.10. Estado ecológico del río

Finalmente, para la evaluación de la calidad ecológica del río se combinan los valores obtenidos de la calidad biológica ABI con los de la calidad hidromorfológica (Encalada *et al.*, 2011).



*Ilustración 46: Escala de calidad hidromorfológica*

*Fuente: (Encalada et al., 2011)*

*Tabla 24: Valores de asignación para los parámetros de la calidad hidromorfológica*

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

*Fuente: (Encalada et al., 2011)*

*Tabla 25: Puntuación para la calidad hidromorfológica*

Descripción	Valor
Pésima	0 – 10
Mala	11 – 20
Moderada	21 – 28
Buena	29 – 35
Excelente	> 35

*Fuente: (Encalada et al., 2011)*

Tabla 26: Calidad biológica ABI y la calidad hidromorfológica - Relación

		Calidad biológica ABI				
						
		> 96	59 – 96	35 – 58	< 35	Sin vida animal
Calidad hidromorfológica	> 35					
	29 – 35					
	21 – 28					
	11 – 20					
	0 – 10					

Fuente: Adaptación de (Aguirre, 2011; Encalada et al., 2011)

Tabla 27: Interpretación de la calidad ecológica del río

Interpretación de la calidad ecológica del río: calidad biológica ABI + calidad hidromorfológica
Excelente
Buena
Moderada
Mala
Pésima

Fuente: Adaptación de (Aguirre, 2011; Encalada et al., 2011)

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Calidad de hábitat fluvial IHF - Resultados

Los resultados obtenidos de la aplicación del IHF dan a conocer el estado actual del hábitat fluvial analizado en los 5 puntos muestreados previamente establecidos, en la tabla 26 se indican los valores y el estado obtenido para cada punto analizado.

*Tabla 28: Puntaje y estado asignados por el índice IHF en los 5 puntos de muestreo*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Índice IHF</b>			<b>Referencia</b>
	<b>Puntaje IHF</b>	<b>Estado</b>	<b>Clasificación</b>	
<i>PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián</i>	49	Regular	40 – 60 Regular	
<i>PM<sub>02</sub> Puente de La Unión</i>	52	Regular	40 – 60 Regular	
<i>PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan</i>	48	Regular	40 – 60 Regular	
<i>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbambu</i>	50	Regular	40 – 60 Regular	

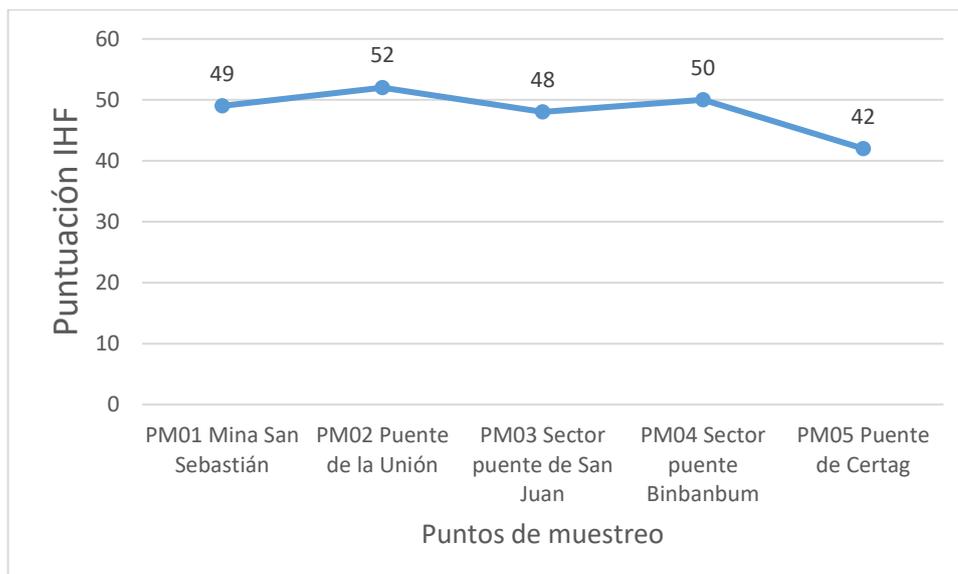
<i>PM<sub>05</sub></i>			
<i>Puente de Certag</i>	42	Regular	40 – 60 Regular



**Clasificación:** 70-100 Óptimo, 40-60 Regular, 0-30 Malo

Según los resultados conseguidos para IHF se obtuvo una calidad “Regular” en todos los cinco puntos de muestreo analizados. Esto es debido a que a lo largo de todos los puntos de muestreo los parámetros analizados mantienen cierta similitud de características, puesto que la frecuencia de rápidos es escasa; la inclusión del sustrato se mantiene entre el 30% – 60 %; la composición del sustrato está dominada por: bloques y piedras, y cantos y grava; con respecto a los regímenes de velocidad se mantiene principalmente en 4 categorías: lento-somero y profundo; rápido-somero y profundo, dependiendo de las precipitaciones que ocurran; la sombra en el cauce posee grandes claros; y la heterogeneidad de los elementos como la presencia de troncos, hojarasca y ramas se repiten en todos los puntos.

Se podría definir a estas características como propias de ríos andinos y sobre todo de la subcuenca del río Santa Bárbara, ya que mantiene una tendencia tal y como se indica en la siguiente ilustración.



*Ilustración 47: Tendencia del índice IHF*

#### 4.2. Resultados de la calidad QBR (vegetación de ribera)

El puntaje obtenido para el QBR permite conocer el estado de la vegetación de ribera, en la siguiente tabla, se exponen los resultados para los puntos de muestreo estudiados.

Tabla 29: Puntaje y estado asignados por el índice QBR en los 5 puntos de muestreo

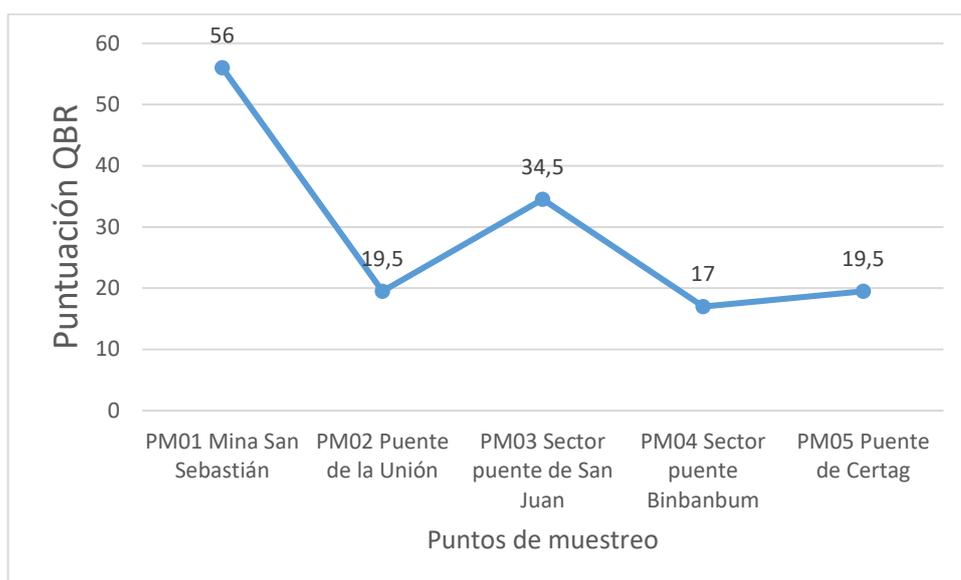
<b>Índice QBR</b>				
<b>Punto de muestreo</b>	<b>Puntaje QBR</b>	<b>Estado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Referencia</b>
<i>PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián</i>	56	Aceptable	55 – 70 Calidad aceptable	
<i>PM<sub>02</sub> Puente de La Unión</i>	19,5	Pésimo	< 25 Calidad pésima	
<i>PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan</i>	34,5	Malo	30 – 50 Calidad mala	
<i>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbambum</i>	17	Pésimo	< 25 Calidad pésima	
<i>PM<sub>05</sub> Puente de Certag</i>	19,5	Pésimo	< 25 Calidad pésima	

**Clasificación:** Calidad pésima <25, Calidad mala 30-50, Calidad aceptable 55-70, Calidad buena 75-90, Estado natural >95

De acuerdo al resultado obtenido para el QBR de 56 se obtuvo una calidad “Aceptable” para el tramo del PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián debido a que las condiciones

de vegetación ribereña son buenas ya que este punto de muestreo en particular se encuentra más aislado de asentamiento humanos por ende la intervención antrópica se ve reducida drásticamente. Para el PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan se obtuvo un puntaje de 34,5 que corresponde a una calidad “Mala”, ya que la zona cuenta con intervenciones humanas como: viviendas, vertidos, vías asfaltadas y caminos o senderos; muchos de estos se encuentran en la zona considerada como ribera. Mientras que para los puntos de muestreo PM<sub>02</sub> Puente de La Unión (19,5), PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbambum (17) y PM<sub>05</sub> Puente de Certag (19,5) se obtuvo una calidad “Pésima”, esto sucede porque los muestreos se ubican en sectores rurales y urbanos con grandes intervenciones humanas entre las que destacan: puentes, viviendas, lugares de ocio, vertidos, vías asfaltadas y presencia de cultivos y actividad ganadera; tal y como se puede observar en las ilustraciones 30 y 31.

De acuerdo a (Palma *et al.*, 2009) los resultados indican que para el PM<sub>01</sub> se está dando el inicio de una alteración importante en el ecosistema, para el PM<sub>03</sub> existe una alteración fuerte del ecosistema; y para los puntos de muestreo PM<sub>02</sub>, PM<sub>04</sub> y PM<sub>05</sub> la degradación del ecosistema es extrema.



*Ilustración 48: Tendencia del índice QBR*

La tendencia nos enseña que conforme se descende en la subcuenca las riberas sufren una degradación de mayor intensidad en las zonas bajas que en las partes altas por consecuencia de la intervención humana que sufren estos lugares, esto se puede evidenciar con (Quito, 2020), que conforme la subcuenca descende la presencia antrópica será mayor así como los resultados obtenidos.

#### 4.3. Diversidad vegetal identificada durante el monitoreo

Como estudio adicional a la calidad de vegetación de ribera se identificaron las especies vegetales más representativas encontradas en los puntos de muestreo. Para esto se definió una área de 200m<sup>2</sup> en el bosque de ribera de los puntos de muestreo, puesto que son primordiales para sostenimiento y regulación de los cuerpos hídricos (Aguirre, 2011). Cabe mencionar que solamente se analizaron los árboles y arbustos.

Tabla 30: Especies vegetales presentes en 200m<sup>2</sup> en el punto de muestreo PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián

<i>Especies vegetales presentes PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián</i>				
Nombre común	Nombre científico	Individuos en 200m <sup>2</sup>	Densidad en bosque de ribera (planta/hectárea)	Observaciones
<b>Sigsal</b>	<i>Cortadeira jubata</i>	7	350	Anexo 5
<b>Chilca</b>	<i>Baccharis latifolia</i>	3	150	Anexo 5
<b>Helecho</b>	<i>Tracheophyta</i>	2	100	Anexo 5
<b>Huicundo</b>	<i>Tillandsia complanata</i>	2	100	Anexo 5
<b>Mora silvestre</b>	<i>Rubus glaucus</i>	1	50	Anexo 5
<b>Joyapa</b>	<i>Macleania rupestris</i>	1	50	Anexo 5

Tabla 31: Especies vegetales presentes en 200m<sup>2</sup> en el punto de muestreo PM<sub>02</sub> Puente de La Unión

<i>Especies vegetales presentes PM<sub>02</sub> Puente de La Unión</i>				
Nombre común	Nombre científico	Individuos en 200m <sup>2</sup>	Densidad en bosque de ribera (planta/hectárea)	Observaciones
<b>Aliso</b>	<i>Alnus acuminata</i>	3	150	Anexo 5
<b>Helecho</b>	<i>Tracheophyta</i>	4	200	Anexo 5

<b>Eucalipto</b>	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	13	650	Anexo 5
<b>Penco</b>	<i>Agave americana</i>	5	250	Anexo 5

Tabla 32: Especies vegetales presentes en 200m<sup>2</sup> en el punto de muestreo PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan

Especies vegetales presentes PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan				
Nombre común	Nombre científico	Individuos en 200m <sup>2</sup>	Densidad en bosque de ribera (planta/hectárea)	Observaciones
<b>Capulí</b>	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	1	50	Anexo 5
<b>Nogal</b>	<i>Junglans nigra</i>	2	100	Anexo 5
<b>Eucalipto</b>	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	16	800	Anexo 5

Tabla 33: Especies vegetales presentes en 200m<sup>2</sup> en el punto de muestreo PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbambum

Especies vegetales presentes PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbambum				
Nombre común	Nombre científico	Individuos en 200m <sup>2</sup>	Densidad en bosque de ribera (planta/hectárea)	Observaciones
<b>Eucalipto</b>	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	11	550	Anexo 5
<b>Pino</b>	<i>Pynus silvestris</i>	3	150	Anexo 5

Tabla 34: Especies vegetales presentes en 200m<sup>2</sup> en el punto de muestreo PM<sub>05</sub> Puente de Certag

Especies vegetales presentes PM <sub>05</sub> Puente de Certag				
Nombre común	Nombre científico	Individuos en 200m <sup>2</sup>	Densidad en bosque de ribera (planta/hectárea)	Observaciones

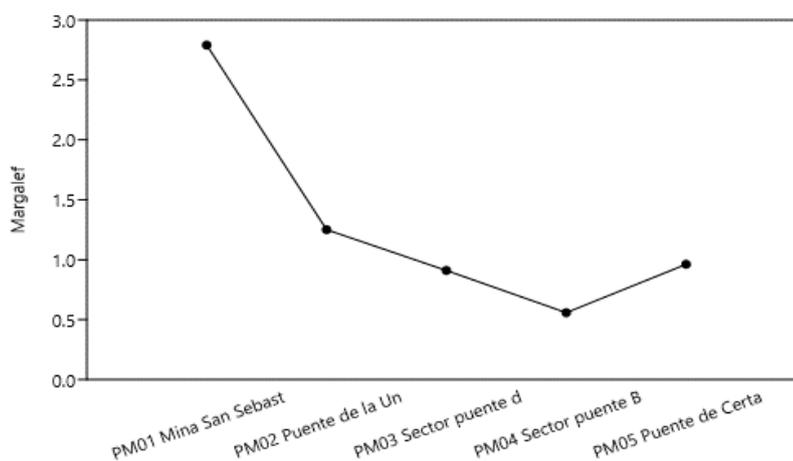
<b>Eucalipto</b>	<i>Eucalyptus globulus Labill.</i>	8	400	Anexo 5
<b>Pino</b>	<i>Pynus silvestris</i>	5	250	Anexo 5
<b>Sauce</b>	<i>Salix humboldtiana</i>	4	200	Anexo 5

En la siguiente tabla se indican los resultados obtenidos para los índices de: Margalef, Simpson y Shannon; obtenidos para cada punto de muestreo.

*Tabla 35: Resultados obtenidos de los índices de: Margalef, Simpson y Shannon*

	PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián	PM <sub>02</sub> Puente de la Unión	PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan	PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbambum	PM <sub>05</sub> Puente de Certag
Taxa_S	6	4	3	2	3
Individuos	6	11	9	6	8
Margalef	2,791	1,251	0,9102	0,5581	0,9618
Simpson_1-D	0,7344	0,6496	0,277	0,3367	0,6367
Shannon_H	1,542	1,21	0,5367	0,5196	1,055

#### 4.3.1. Índice de Margalef

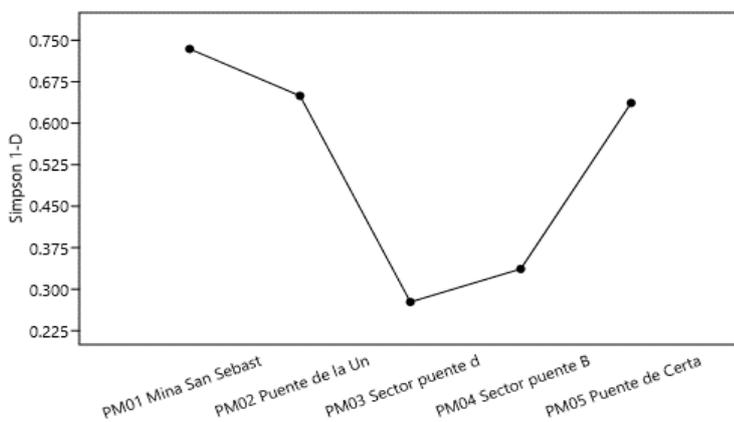


*Ilustración 49: Tendencia del índice de Margalef*

De acuerdo a los resultados de la tabla 32 y la ilustración 38 el índice de Margalef para el PM<sub>01</sub> Mina de San Sebastián es de 2,79 lo que indica que este tramo analizado posee una biodiversidad media tomando en cuenta que se considera alta biodiversidad a valores mayores a 4; mientras que el puntaje obtenido para: PM<sub>02</sub>

Puente de La Unión de 1,25., PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan de 0,91., PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbabum de 0,55 y PM<sub>05</sub> Puente de Certag con 0,96 muestra una baja biodiversidad considerando a valores menores a 2 como poca biodiversidad.

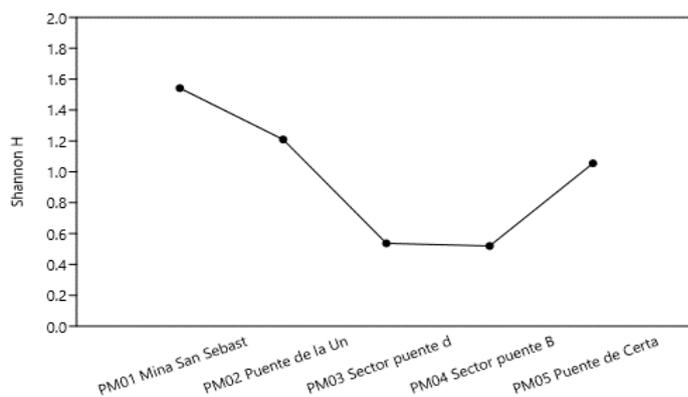
### 4.3.2. Índice de Simpson



*Ilustración 50: Tendencia del índice de Simpson*

Los resultados obtenidos del índice de Simpson para: PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián, PM<sub>02</sub> Puente de La Unión, PM<sub>05</sub> Puente de Certag con valores de 0,73., 0,64 y 0,63 respectivamente, indican que tiende a existir una mayor probabilidad de encontrar una misma especie al tomar diferentes individuos que se puede traducir como un elevado grado de uniformidad de especies; por el contrario el PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan con 0,27 y PM<sub>04</sub> Sector puente de Bimbabum con 0,33 indican una menor probabilidad de encontrar una especie igual entre varios individuos analizados.

### 4.3.3. Índice de Shannon



*Ilustración 51: Tendencia del índice de Shannon*

El valor obtenido del índice de Shannon fue de 1,54 en PM<sub>01</sub> Mina de San Sebastián, 1,21 en PM<sub>02</sub> Puente de La Unión, 0,53 en PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan, 0,51 en PM<sub>04</sub> Sector puente de Bimbambum y 1,05 en PM<sub>05</sub> Puente de Certag, que tomando en cuenta que los valores normales se encuentran entre 2 y 3 los puntos de muestreo analizados presentan valores inferiores, claramente muestran una biodiversidad específica baja.

#### 4.4. Resultados del ABI

Las familias identificadas, así como su correspondiente puntaje ABI asignado para el muestreo 1 del mes de noviembre se encuentran especificados en el **anexo 6**, para la muestra 2 del mes de diciembre corresponde al **anexo 7** y para la muestra 3 del mes de enero se especifica en el **anexo 8**. Se encontraron un total de 31 familias de las cuales las que más se repiten son las siguientes: *Baetidae*, *Chironomidae*, *Oligochaeta*, *Leptophlebiidae*, *Perlidae*, *Simulidae* y *Ceratopogonidae*.

##### 4.4.1. Resultados ABI promedio entre el muestreo 1, 2 y 3 del río Santa Bárbara

Tabla 36: Valores del índice ABI promedio del muestreo 1,2 y 3

Resultado calidad biológica ABI promedio		
Punto de muestreo	Puntaje ABI	Calidad de agua
PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián	44	Regular
PM <sub>02</sub> Puente de la Unión	46	Regular
PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan	42	Regular
PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbambum	34	Malo
PM <sub>05</sub> Puente de Certag	21	Malo

Los resultados del ABI promedio entre los muestreos realizados indican en los PM<sub>01</sub>, PM<sub>02</sub> y PM<sub>03</sub> una calidad “Regular” del agua; mientras que para PM<sub>04</sub> Sector puente de Bimbambum y PM<sub>05</sub> Puente de Certag la calidad de agua es “Mala”; esto debido que para este punto el río recorre los 3 cantones: Sígsig, Chordeleg y Gualaceo, de este último el río pasa por plena cabecera cantonal y a lo largo existen varios vertidos de aguas residuales y vertidos menores, mientras que para los puntos de muestreo anteriores pese a que existe intervención antrópica esta ocurre en menor medida y no en forma directa con el cauce del río, ya que la población se encuentra

más estratificada (Lojano & Lucero, 2011). Debido a esta razón se tiene la siguiente tendencia de la calidad biológica ABI en la que se observa que conforme se avanza en la cuenca la calidad ABI va disminuyendo, haciendo una comparación con el trabajo de (Bustamante *et al.*, 2014) en donde el comportamiento es similar, debido a que ocurre lo mismo, conforme el trayecto avanza hacia la cuenca baja mayores son las alteraciones en el entorno.

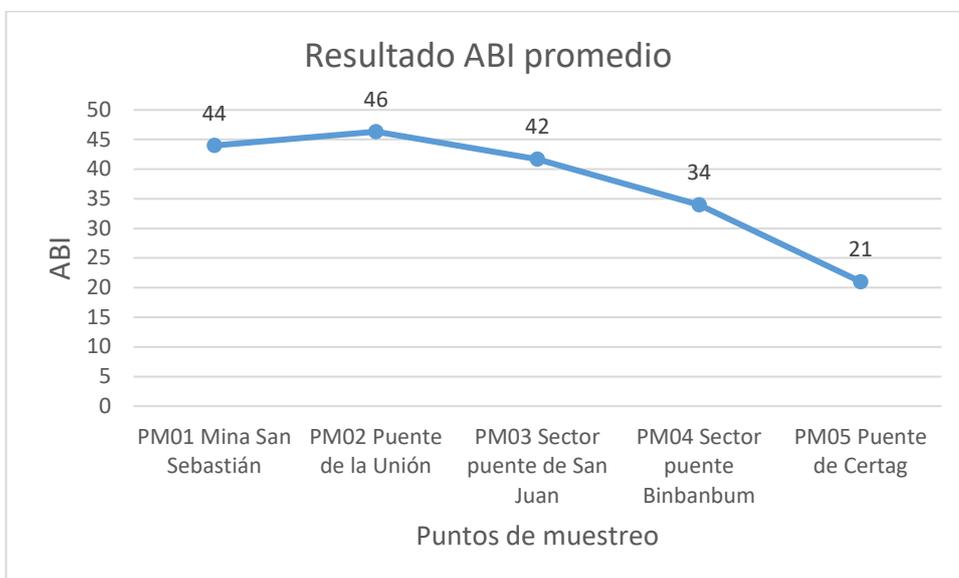


Ilustración 52: Tendencia de la calidad biológica ABI

Se realiza una comparación con los resultados obtenidos del ABI por (Lojano & Lucero, 2011) en el río Santa Bárbara, mismo que indican un resultado regular de calidad del sistema hídrico en la cuenca alta, y una calidad baja del agua que disminuye conforme se desciende, en específico en el sector de Gualaceo en donde se obtiene similares resultados con una calidad de agua mala.

#### 4.5. Calidad del agua y calificación de acuerdo a parámetros fisicoquímicos *in situ*

Autores mencionan que los parámetros químicos y físicos de cuerpos acuáticos como oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y pH, son concluyentes en las comunidades de macroinvertebrados del agua, además estos parámetros son a los que mayor sensibilidad presentan (Cedeño & Quinteros, 2016).

Seguidamente, se muestran los valores obtenidos *in situ* de los parámetros químicos y físico y su respectivo caudal promedio para cada punto de muestreo.

Tabla 37: Parámetros fisicoquímicos medidos in situ y límite máximo

Parámetro	Punto de muestreo															Límite máximo permisible
	PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián			PM <sub>02</sub> Puente de la Unión			PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan			PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbabum			PM <sub>05</sub> Puente de Certag			
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	
pH	5,34	7,26	5,06	6,47	7,37	6,1	8,53	7,54	5,88	7,12	7,77	6,74	8,75	7,54	6,27	6 - 9
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,76	7,83	7,68	7,98	7,93	7,87	8,56	8,1	7,73	8,79	8,07	7,41	9,55	7,7	7,39	No menor a 6
Porcentaje de saturación	100,1	102,6	102,6	105,1	104,6	106,9	102,3	106	105	115,9	106,4	102,1	126,6	101,1	100,3	No menor a 80%
Conductividad eléctrica (µS/cm)	49,1	53,3	46,5	86,5	63,3	81,2	215,2	177,1	166,53	140,5	84,3	118,8	186,7	77,6	125,66	-
Temperatura del agua (°C)	13,6	13,2	14,1	15,3	14,3	15,9	15,6	14,8	16,3	15,8	14,8	17	16,1	15,6	17,2	Condición natural + o - 3
Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s)	0,86	3,09	1,57	1,81	3,36	1,15	1,54	2,01	1,47	1,89	6,25	5,27	1,98	2,21	2,94	-

#### 4.5.1. Análisis del pH

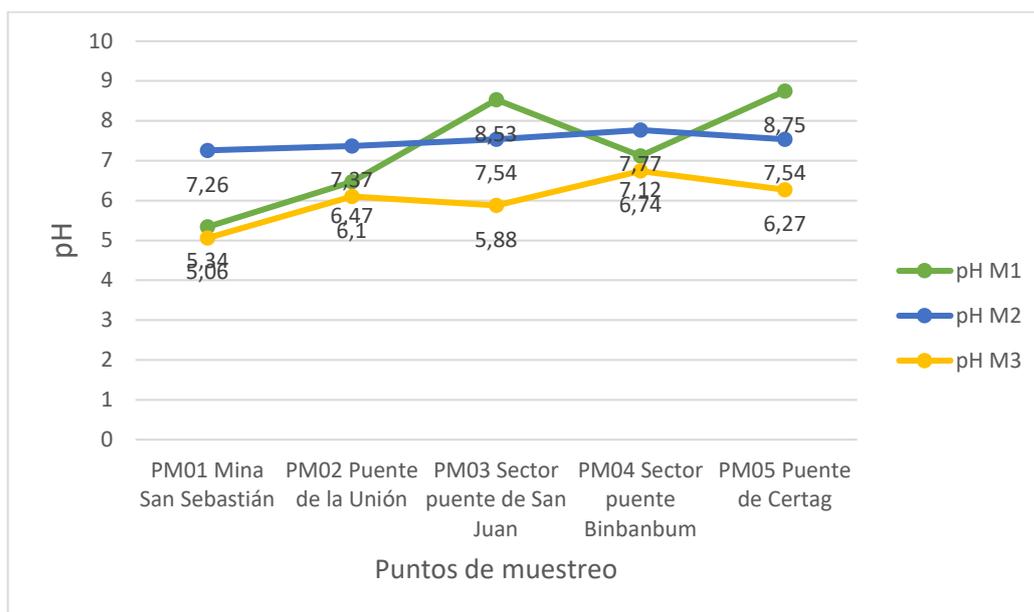


Ilustración 53: Resultados del pH in situ

Los resultados obtenidos del pH para el primer y segundo muestreo en el PM<sub>01</sub> con 5,34 y 5,06 correspondientemente, indica un pH ligeramente ácido esto debido a descargas de vertidos de emplazamientos mineros aguas arriba; mientras que para PM<sub>03</sub> con 8,53 y el PM<sub>05</sub> con 8,75 indica una tendencia de un agua ligeramente alcalina. En cambio, para el muestreo 2 el pH oscila entre 7,26 hasta los 7,54. Estos cambios se deben a las épocas secas y lluviosas que se relacionan directamente con sus caudales, así como la relación con descargas de aguas residuales, actividades ganaderas y agrícolas del sector. Para el muestreo 3 se puede apreciar que posee los valores más bajos registrados que se encuentran entre 5,06 y 7,12.

Realizando una comparativa con resultados de pH obtenidos por (Lojano & Lucero, 2011), si existe una diferencia en los primeros puntos de muestreo puesto que tienen valores que se encuentran catalogados como neutros, mientras que en el presente trabajo se obtienen resultados ligeramente ácidos; conforme avanza el río el pH tiende a equilibrarse de igual manera. Con respecto a la normita vigente, el valor del pH del punto de muestreo PM<sub>01</sub> para el muestreo 1 y 3 se encuentran fuera del límite permisible puesto que son menores a 6.

No obstante, las variaciones tienden a equilibrarse entre los valores normales para la vida acuática (6,5 a 8,0) (Cedeño & Quinteros, 2016).

#### 4.5.2. Análisis del oxígeno disuelto

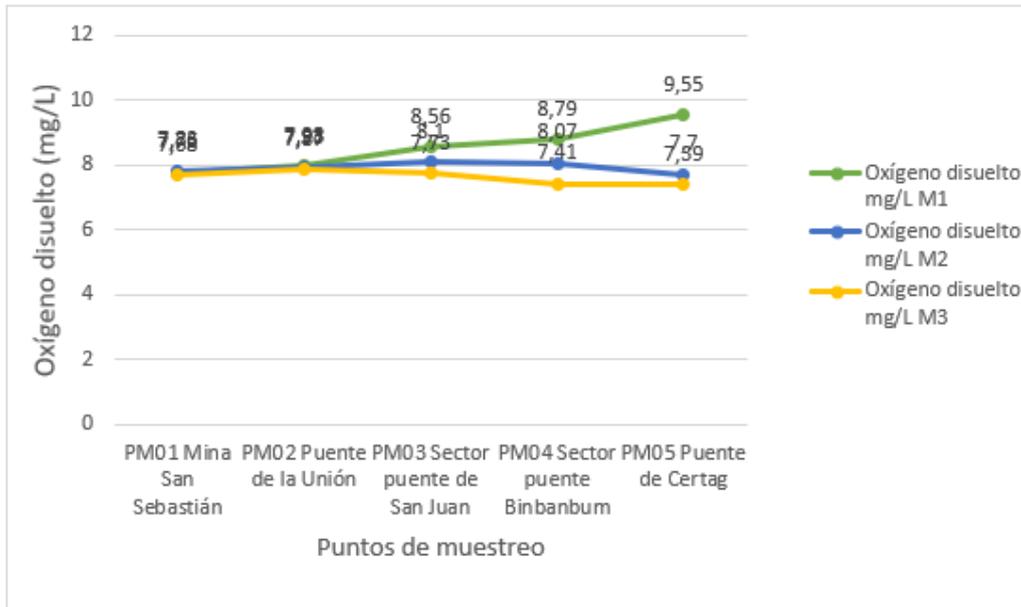


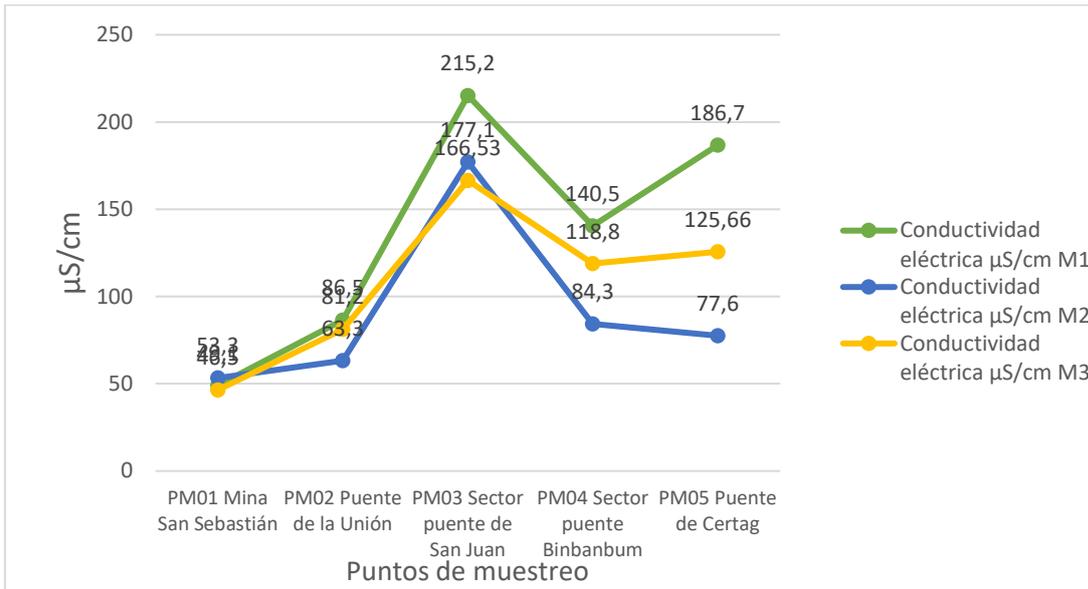
Ilustración 54: Resultados del oxígeno disuelto in situ

Los resultados para oxígeno disuelto en los 5 puntos de muestreo presentan valores entre un mínimo de 7,68 mg/L en el muestro como 3 y un máximo de 9,55 en el muestreo 1, es decir entre las tres muestras no existe una diferencia sustancial. El oxígeno disuelto va a depender de las peculiaridades propias del sistema hídrico, procesos químicos biológicos, la temperatura y turbulencia,; Valores normales ( $\geq 5$  mg/L) tienen importancia en los ecosistemas, ya que se relacionan directamente con procesos metabólicos de los organismos (Cedeño & Quinteros, 2016).

De acuerdo al porcentaje de saturación de oxígeno se puede apreciar que en todos los puntos de muestreo este excede el 100% lo que indica una sobresaturación, esto puede incidir en el desarrollo de productores primarios (fitoplancton y algas) superior a la normal, mismo que interviene en la disponibilidad de la luz y el exceso de nutrientes (Acevedo & Ballesteros, 2018).

Con respecto a los límites máximos permisibles se cumple en todos los puntos de muestreo. De igual manera los resultados registrados para oxígeno disuelto por (Lojano & Lucero, 2011) muestran valores que rondan los 10 mg/l, es decir no existe una notable diferencia e incluso siempre se mantiene por encima de valores normales y con tendencias similares entre ambos estudios. En relación al porcentaje de saturación, este de igual manera se encuentra dentro de los límites permisibles puesto que son mayores al 80%.

### 4.5.3. Análisis de la conductividad eléctrica



*Ilustración 55: Resultados de la conductividad eléctrica in situ*

Teniendo en cuenta que un agua ultra pura no es buen conductor de electricidad (Aguirre, 2011) se puede interpretar que los resultados obtenidos para conductividad eléctrica en el PM<sub>01</sub> en todos los muestreos presenta buenas condiciones, de igual manera para el PM<sub>02</sub> y el PM<sub>04</sub> en el muestreo 1, 2 y 3 no existe demasiada diferencia por lo que mantiene igual condición; con respecto al PM<sub>03</sub>, PM<sub>04</sub> y PM<sub>05</sub>, se eleva la conductividad pero se encuentra dentro de rangos que indican una calidad buena del cuerpo hídrico así como se indica en la tabla 8.

Los resultados obtenidos por (Lojano & Lucero, 2011) muestran una cierta similitud en los 2 primeros puntos de muestreo, pero en los 3 restantes si existe una notable diferencia puesto que registran resultados bajos en comparación con los obtenidos en el presente trabajo, esto puede indicar que existe un deterioro latente en el cuerpo hídrico y su calidad.

#### 4.5.4. Análisis de la temperatura del agua

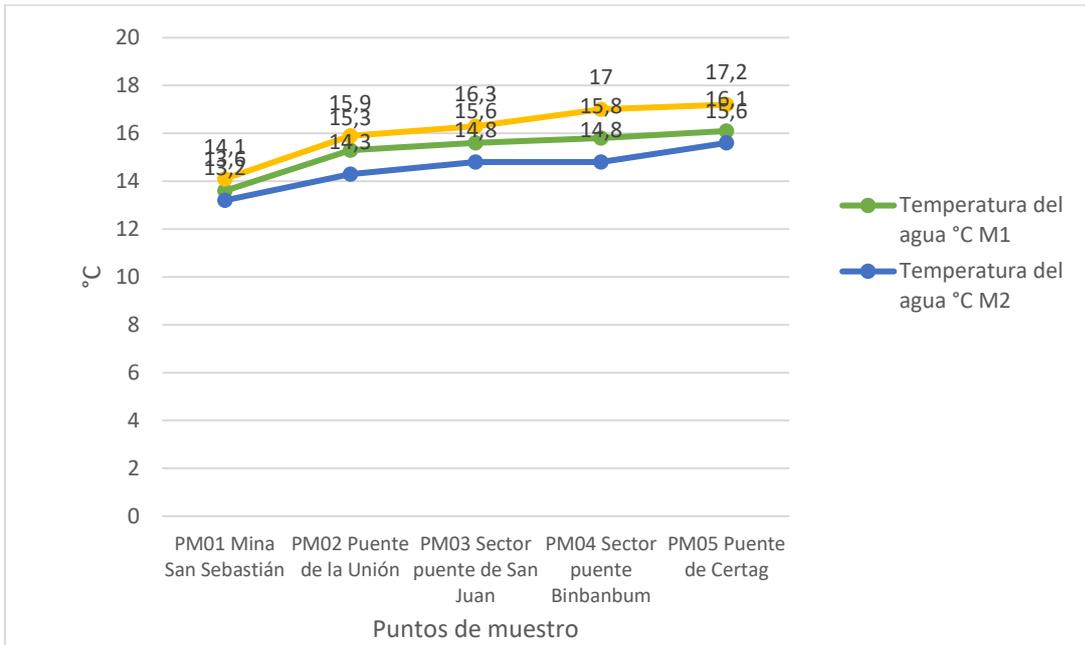


Ilustración 56: Temperatura del agua - Resultados

El parámetro de la temperatura del sistema acuático es uno de los elementos que incide en la vida acuática, debido a que establece la disposición de las características físicas, la distribución y riqueza de macroinvertebrados (Cedeño & Quinteros, 2016).

Los resultados obtenidos de temperatura señalan que oscila entre un mínimo 13,2 hasta un máximo de 17,2, se puede definir que entre todos los tramos analizados la temperatura mantiene una tendencia puesto que para el punto de muestreo PM<sub>01</sub> ocurre en la zona alta de la subcuenca a 2551 m s. n. m. y continúa bajando hasta los 2220 m s. n. m. en el PM<sub>05</sub> al igual que sucede con los datos registrados por (Lojano & Lucero, 2011) que mantiene una similitud. De acuerdo a los límites máximos permisibles para temperatura, esta cumple en todos los puntos de muestreo.

#### 4.5.5. Análisis de caudales

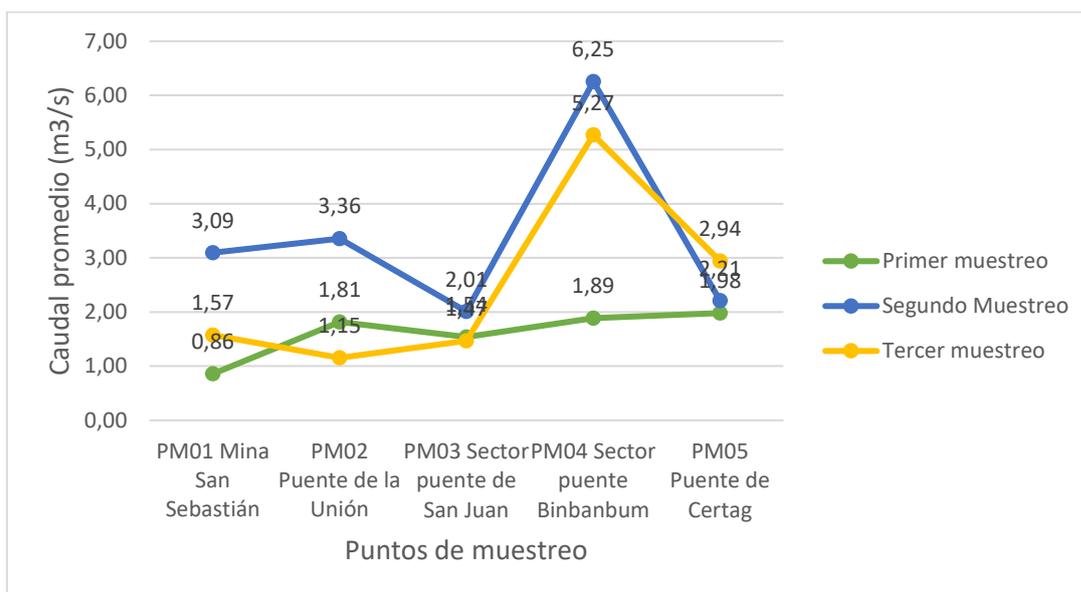


Ilustración 57: Caudales promedios registrados

El caudal promedio registrado para el muestreo 1 presenta una variación entre 0,86 m<sup>3</sup>/s en el PM<sub>01</sub> hasta 1,98 m<sup>3</sup>/s en el PM<sub>05</sub> como máximo debido a que en días anteriores se presentaron muy pocas precipitaciones; en cambio para el muestreo 2 los niveles de precipitaciones subieron de tal manera que se registraron valores mínimos de 2,01 m<sup>3</sup>/s en el PM<sub>03</sub> y máximos en el PM<sub>04</sub> de 6,35 m<sup>3</sup>/s; ocurre algo similar en el tercer muestreo en donde los máximos se presentan en el PM<sub>04</sub>. Se presentaron diferencias sustanciales sobre todo en el PM<sub>04</sub> de 1,89 m<sup>3</sup>/s a 6,25 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.6. Correlación del índice ABI versus los parámetros fisicoquímicos evaluados *in situ*

Según (Cedeño & Quinteros, 2016), para analizar grupos de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de los sistemas, estos permite evaluar si han sido afectados por alteraciones fisicoquímicos en su entorno. De esta manera es importante ejecutar una observación de la correlación del coeficiente de Pearson con las variables fisicoquímicas analizadas *in situ* y el índice ABI. A continuación, se muestra de forma resumida los resultados obtenidos.

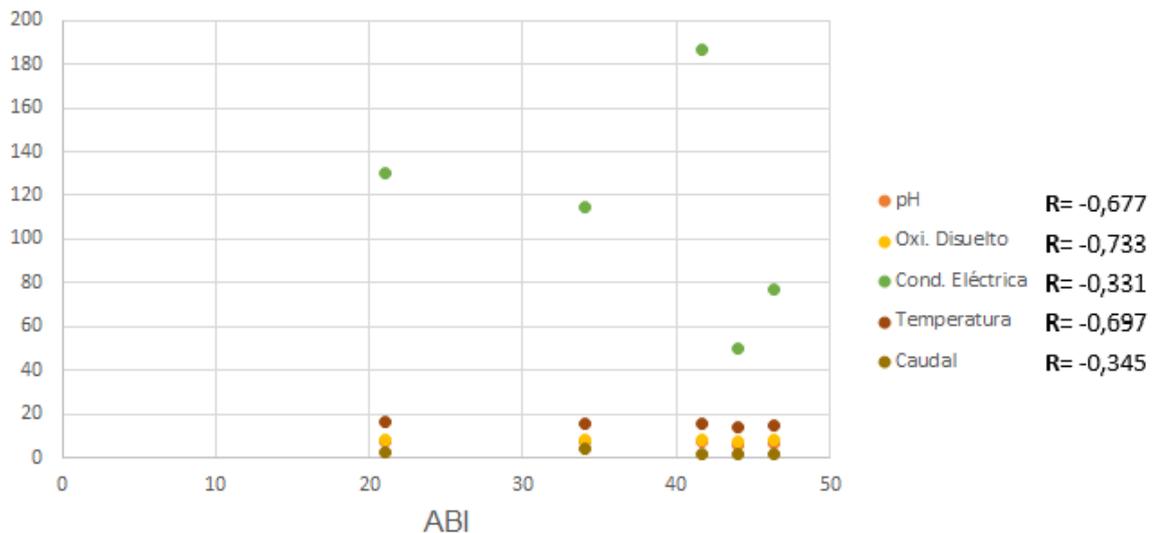


Ilustración 58: Gráfico de dispersión entre el ABI y los parámetros in situ

#### 4.6.1. Correlación entre el ABI y el pH

De acuerdo a la ilustración 49 de dispersión en función de la varianza entre las variables ABI y pH, existe una correlación negativa fuerte (-0,677) por lo que existe una clara relación entre los parámetros analizados, de esta manera siendo el ABI inversamente proporcional al PH.

En comparación con el estudio (Cedeño & Quinteros, 2016) indica similar correlación negativa fuerte entre el ABI y pH. En su adaptación, indican que el pH posee una interdependencia entre comunidades vegetales, animales y el medio acuático; los macroinvertebrados contribuyen a la disminución del pH debido a los procesos de descomposición y respiración.

#### 4.6.2. Correlación entre el ABI y el oxígeno disuelto

Según la ilustración 49 existe una correlación negativa fuerte (-0,733), siendo de esta manera el índice ABI inversamente proporcional al oxígeno disuelto. Una variable a la que los organismos responden es el oxígeno disuelto, pues dependen de este para subsistir y sus repentinos cambios son a causa de elementos que modifican su hábitat o directamente con problemas de contaminación (Cedeño & Quinteros, 2016).

Un factor que puede determinar bajos niveles de oxígeno disuelto son los fertilizantes que normalmente proceden de zonas de cultivos, ya que causan mayor crecimiento de plantas acuáticas (Toledo B, 2015), según (Samaniego, 2019) otro factor determinante es la turbiedad ocasionada por los sólidos totales, además de disminuir la actividad fotosintética por causa de la reducción del paso de la luz que es de suma importancia para la producción de oxígeno disuelto.

#### **4.6.3. Correlación entre el ABI y la conductividad eléctrica**

Como se puede observar en la ilustración 49 existe una correlación negativa débil (-0,331) lo que indica que no existe una correlación clara entre ambos parámetros.

La conductividad eléctrica muestra la presencia en el agua de sales disueltas (SENAGUA, 2017), las circunstancias de nutrientes y químicas definen las diferenciaciones de conductividad (Terneus *et al.*, 2012). En su estudio (Carvacho, 2012) nos indica que mientras más se baje en una cuenca mayores serán los resultados de conductividad ya que está estrechamente relacionado con actividades antrópicas, en especial los cultivos.

#### **4.6.4. Correlación entre el ABI y la temperatura**

Según la ilustración 49 el análisis entre las variables ABI y temperatura corresponde a una correlación negativa fuerte (-0,697), lo que indica una clara correlación entre ambos parámetros.

La temperatura del agua además de ser una de las características a la que los organismos son más sensibles (Meza & Rubio, 2012), es un elemento que puede llegar a determinar la distribución y presencia de macroinvertebrados acuáticos (Cedeño & Quinteros, 2016).

#### **4.6.5. Correlación entre el ABI y el caudal**

De acuerdo a la ilustración 49 la correlación entre las variables ABI y caudal indican que existe una correlación negativa débil (-0,345) por lo que no existe una correlación clara entre los parámetros analizados. De esta manera el caudal no es

un factor determinante en el puntaje ABI, puesto que este puede llegar a influir en el número de individuos recolectados, pero no necesariamente en la calidad de los mismos.

#### 4.7. Comparación entre el índice ICA y el índice ABI

Mediante los resultados facilitados por los muestreos ejecutados por el Ministerio del Ambiente y agua, se corrió el modelo para calidad de agua  $ICA_{NSF}$ , metodología explicada en la ilustración 45.

Los datos facilitados por el Ministerio del Ambiente y Agua se detallan en el anexo 8 y el ingreso de los datos en el anexo 12, obteniendo los siguientes resultados.

*Tabla 38: Valores del índice  $ICA_{NSF}$*

Resultado índice ICA		
Punto de muestreo	Puntaje ICA	Calidad de agua
PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián	68	Media
PM <sub>02</sub> Puente de la Unión	77	Buena
PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan	78	Buena
PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbabum	79	Buena
PM <sub>05</sub> Puente de Certag	78	Buena

Realizando una comparación entre resultado del índice ICA obtenidos por (Lojano & Lucero, 2011) en el río Santa Bárbara, estos muestran una calidad de agua media al contrario que sucede con el presente estudio a excepción del primer punto de muestreo en donde se obtiene una buena similar, esto indica de cierto modo una mejora en la calidad de sus aguas. El resultado obtenido se ve influenciado principalmente por dos factores: los coliformes fecales y el % de oxígeno de saturación, debido al peso que ejerce en el análisis del índice, más aún este último,

ya que trabaja en función de la altura sobre el nivel del mar puesto que en ríos andino es el parámetro que más afecta a su comportamiento.

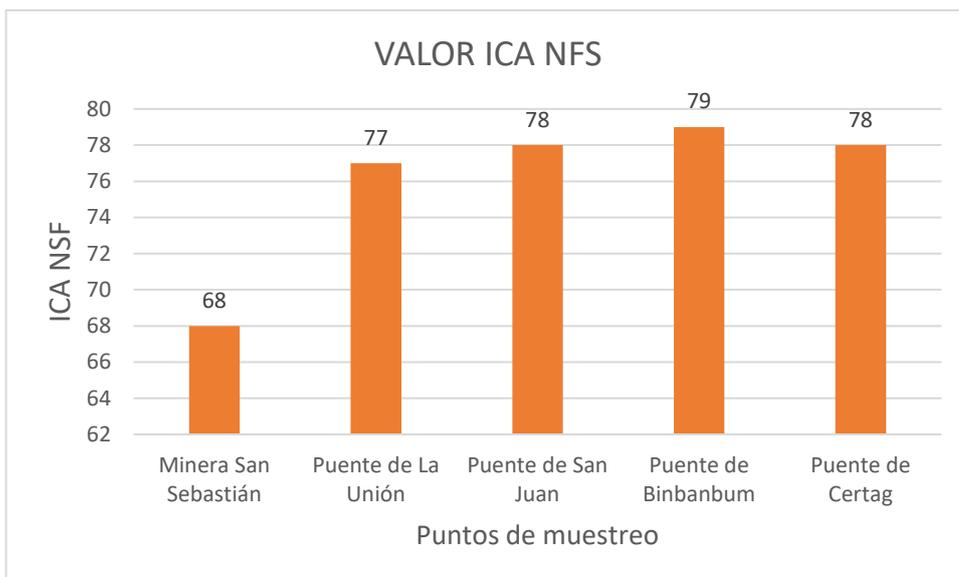


Ilustración 59: Tendencia del índice  $ICA_{NSF}$

Tabla 39: Comparación entre el índice  $ICA_{NSF}$  y ABI

Comparación entre índice $ICA_{NSF}$ y ABI		
Punto de muestreo	Puntaje ICA	Puntaje ABI
<b>PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián</b>	68	44
<b>PM<sub>02</sub> Puente de la Unión</b>	77	46
<b>PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan</b>	78	42
<b>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbabum</b>	79	34
<b>PM<sub>05</sub> Puente de Certag</b>	78	21

#### 4.7.1. Análisis estadístico

- **ANOVA de un factor**

Mediante un ANOVA test de factor simple se podrá determinar si los resultados de los promedios de los parámetros son diferentes a partir de un valor de significancia  $<0,05$ .

Ho: No existen diferencias significativas

Ha: Existen diferencias significativas

Tabla 40: Test ANOVA de un factor

ANOVA: Single Factor

DESCRIPTION		Alpha		0,05				
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper
Puntaje ICA	5	380	76	20,5	82	3,54996088	67,8137755	84,1862245
Puntaje ABI	5	187	37,4	105,522222	422,088889	3,54996088	29,2137755	45,5862245

Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	3724,9	1	3724,9	59,1149709	5,80465E-05	0,88080156	3,43845811	0,8531894
Within Groups	504,088889	8	63,0111111					
Total	4228,98889	9	469,887654					

Si Alpha > P value: Si existen diferencias significativas

- **Prueba de Tukey**

Concluido el ANOVA test se admite la hipótesis alternativa, seguidamente se realiza un test de Tukey con el fin de establecer la homogeneidad de las variables.

Tabla 41: Aplicación del test Tukey

TUKEY HSD/KRAMER		alpha		0,05	
group	mean	n	ss	df	q-crit
Puntaje ICA	76	5	82		
Puntaje ABI	37,4	5	422,088889		
		10	504,088889	8	3,261

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
Puntaje ICA	Puntaje ABI	38,6	3,54996088	10,8733593	27,0235776	50,1764224	5,8047E-05	11,5764224	4,86271409

Si Alpha > P value: Si existen diferencias significativas

Los resultados indican que:

El puntaje ICA<sub>NSF</sub> y el puntaje ABI analizados tienen diferencias significativas entre ambas variables, es decir los resultados del ICA<sub>NSF</sub> y del ABI son diferentes.

#### 4.8. Determinación del estado ecológico

Con los resultados obtenidos de acuerdo a la ilustración 46 para la calidad hidromorfológica, mismos que se pueden apreciar en la tabla 42, se procedió a intercalar los resultados obtenidos del ABI y la calidad hidromorfológica que se expone en la tabla 44.

*Tabla 42: Resultados obtenidos para la calidad hidromorfológica*

Resultados de la calidad hidromorfológica		
Punto de muestreo	Resultado	Estado
PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián	23	Moderada
PM <sub>02</sub> Puente de la Unión	18	Mala
PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan	24	Moderada
PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbabum	16	Mala
PM <sub>05</sub> Puente de Certag	18	Mala

*Tabla 43: Resultados obtenidos para la calidad hidromorfológica y ABI*

Punto de muestreo	Calidad hidromorfológica	Calidad ABI
PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián	23	44
PM <sub>02</sub> Puente de la Unión	18	46
PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan	24	42
PM <sub>04</sub> Sector puente Bimbabum	16	34
PM <sub>05</sub> Puente de Certag	18	21

Tabla 44: Determinación del estado ecológico para cada punto de muestreo

		Calidad biológica ABI				
						
		> 96	59 – 96	35 – 58	< 35	Sin vida animal
Calidad hidromorfológica	> 35					
	29 – 35					
	21 – 28			PM <sub>01</sub> - PM <sub>03</sub>		
	11 – 20			PM <sub>02</sub>	PM <sub>04</sub> – PM <sub>05</sub>	
	0 – 10					

Tabla 45: Estado ecológico determinado los diferentes puntos de muestreo

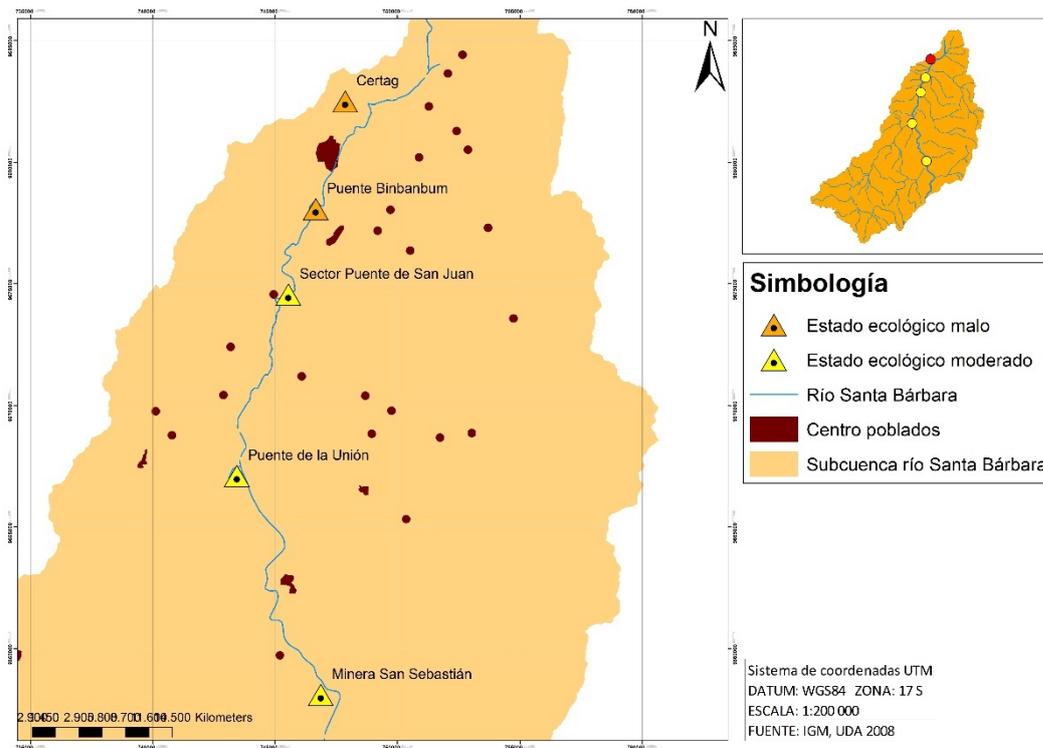
Puntos muestreo	Estado	Referencia
PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián	Moderado	
PM <sub>02</sub> Puente de La Unión	Moderado	
PM <sub>03</sub> Sector puente de San Juan	Moderado	

<i>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbambum</i>	Malo	
<i>PM<sub>05</sub> Puente de Certag</i>	Malo	

Los resultados obtenidos en la tabla 45 dan a conocer el estado ecológico analizado en los cinco puntos de muestreo previamente establecidos. Como se puede apreciar, para: PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián, PM<sub>02</sub> Puente de La Unión y PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan, poseen un estado ecológico moderado, debido a la interacción entre la calidad hidromorfológica que se encuentra en estado moderado y malo tal y como se indica en la tabla 42 y un ABI regular dan como resultado ese estado ecológico que se puede comprobar en la tabla 44 de determinación.

Con respecto al PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbambum y PM<sub>05</sub> Puente de Certag, poseen un estado ecológico malo, debido a que su calidad hidromorfológica y ABI ingresan resultados muy bajos como se puede observar en la tabla 43. Para este punto es razonable el estado en que se encuentra ya que recibe todo tipo de intervenciones antrópicas aguas arriba, como: zonas de cultivo vivienda, descargas de aguas residuales y otros vertidos, debido a que el cauce pasa por la cabecera cantonal de Gualaceo, considerado como unos de los cantones más poblados del Azuay (GAD Gualaceo, 2015; Lojano & Lucero, 2011). Realizando una comparación con el estudio de (Azabache, 2018) con una metodología similar, indica que la zona de estudio al ser de río urbano y sub urbano consta como una sistema degradado, ya que recibe impactos de varias fuentes difusas así como puntuales en concreto en el río Porcón que muestra aguas de baja calidad, tal y como sucede en el río Santa Bárbara. De igual manera, en una comparación con el trabajo de (Aguirre, 2011) mantiene la misma tendencia de alteraciones importantes aguas abajo en la cuenca del río Yanuncay.

El estado ecológico del río Santa Bárbara queda distribuido de la siguiente manera.



*Ilustración 60: Representación del estado ecológico del río Santa Bárbara*

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados analizados en el índice de hábitat fluvial se concentran en un estado “Regular” para todos los puntos de muestreo, de esta manera se puede concluir que todo el tramo del río Santa Bárbara mantiene condiciones similares de hábitat fluvial en todos sus puntos, siendo así, el río Santa Bárbara es homogéneo, pese a que en el estudio si se cuenta con puntos de muestreo con altitudes distintas entre sí.
- Con respecto al análisis de vegetación de ribera QBR, el estado de calidad “aceptable” para el PM<sub>01</sub> es comprensible ya que es el punto que más alejado se encuentra de asentamiento humanos por consecuencia el peso de actividades antrópicas que pueden llegar a afectar la zona es muy bajo. En el PM<sub>03</sub> se determinó una calidad de vegetación de ribera “mala” pese a que tiene más del 50% de la zona de ribera con cubierta vegetal esta cuenta en su mayoría con especies introducidas además que no tiene una correcta distribución de vegetación, es decir se concentran en determinados puntos y el restante queda descubierto. Para el PM<sub>02</sub>, PM<sub>04</sub> y PM<sub>05</sub> se tiene una calidad “pésima” ya que estas 3 zonas se encuentran más cercanas a centros poblados incluso junto a zonas urbanas, por esta razón se evidencia una mayor influencia de actividades antrópicas.

Adicional al estudio del índice QBR también se realizó el análisis de vegetación de bosque de ribera (árboles y arbustos) en los puntos de muestreo, de esta manera mediante el índice de Margalef, se determinó que el PM<sub>01</sub> con 2,79 posee una diversidad vegetal media, en comparación con los otros puntos (PM<sub>02</sub>, PM<sub>03</sub>, PM<sub>04</sub>, PM<sub>05</sub>) que tiene un bajo índice de diversidad vegetal, relacionándolo con el QBR presenta similares condiciones de vegetación. Con respecto al índice de Shannon analizado, todos los puntos de muestreo tienen una diversidad específica baja, en síntesis, poseen una diversidad pobre. Cabe mencionar que solamente se analizó la vegetación de bosque de ribera en 200m<sup>2</sup> en el punto de muestreo. Pudiendo concluir que, existe una relación entre la vegetación existente en

la ribera con la calidad de agua ABI y físico químicos, puesto que presentan estados similares en los puntos de muestreo.

- El promedio del índice ABI obtenido para el río Santa Bárbara presenta una calidad regular de sus aguas en los puntos de muestreo  $PM_{01}=44$ ,  $PM_{02}=46$  y  $PM_{03}=42$ , mientras que para el punto de muestreo  $PM_{04}=34$  y  $PM_{05}=21$  se obtuvo una calidad mala de agua. Esto fue posible ya que con el transcurso del río la intervención antrópica cada vez es mayor y de manera más invasiva.

En todo el estudio se obtuvo un total de 31 familias, de las cuales 8 familias son las que más se repiten y corresponden a: *Baetidae*, *Oligochaeta*, *Philopotamidae*, *Leptophlebiidae*, *Chironomidae*, *Perlidae*, *Simuliidae*, *Ceratopogonidae*; mismas que poseen valores ABI superiores a 5 que indican una calidad de agua de regular a buena.

- Las características químicas y físicas de: oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, temperatura del agua, conductividad eléctrica y pH, analizados el mismo día de la recolección de macroinvertebrados acuáticos indica una tendencia de aumento de sus niveles conforme se baja en la subcuenca, esto es evidente puesto que la presencia de asentamientos humanos es más elevada lo que aumenta las actividades antrópicas de la zona que son determinantes para las características físicoquímicas del río.

Con respecto al cumplimiento de la normativa vigente los límites máximos permisibles se cumplen en la mayoría de parámetros y muestras, a excepción del pH, en específico el punto de muestreo  $PM_{01}$  Mina San Sebastián, puesto que en el muestreo 1 y 3 el valor está por debajo del límite permisible, siendo ligeramente ácido.

- Para el estudio de correlación de Pearson se obtuvo que entre las de pH, oxígeno disuelto y temperatura con el ABI cada uno, tienen una correlación negativa fuerte, que indica que la distribución de los macroinvertebrados va a depender del pH, oxígeno disuelto y temperatura puesto que muestran una relación clara ya que son valores mayores a -0,510. En cambio, entre los parámetros de conductividad eléctrica y caudal con el ABI cada uno, poseen una correlación negativa débil, esto indica que la relación de los

macroinvertebrados con estos parámetros no es clara. En resumen, tanto la temperatura, pH y oxígeno disuelto representan un factor determinante en la distribución de macroinvertebrados, sin embargo, esto no decreta si las familias de macroinvertebrados representan una mala calidad o una buena calidad del agua a más del puntaje ABI correspondiente, dicho de otra manera, puede influir en el número de individuos mas no en la repartición de familias.

- Mediante los datos fisicoquímicos proporcionados por el Ministerio del Ambiente y Agua se determinó el resultado del índice  $ICA_{NSF}$ , se determinó que el  $PM_{01}$  posee una calidad “media” del cuerpo hídrico, sin embargo, para los demás puntos de muestreo ( $PM_{02}$ ,  $PM_{03}$ ,  $PM_{04}$  Y  $PM_{05}$ ) tienen una calidad de agua “buena”. Además, se realizó un test ANOVA y Tukey entre el  $ICA_{NSF}$  y el ABI los que nos indicó que existen diferencias significativas entre ambas variables, lo que nos quiere decir que los índices muestran resultados de diferente interpretación como se puede observar en la tabla 40. El índice  $ICA_{NSF}$  se ve influenciado principalmente por el porcentaje de saturación, puesto que tiene una mayor ponderación con respecto a los otros parámetros, además este se lo realiza en función a la altitud misma que es una característica principal en nuestros ríos andinos.

Cabe mencionar que los datos proporcionados por el Ministerio corresponden a 2019, puesto que este año 2020 no se realizaron estudios fisicoquímicos en el río por parte de la entidad.

- Finalmente, el estado ecológico del río calculado a partir de la calidad hidromorfológica y la calidad ABI indica que: existe un estado ecológico moderado para lo  $PM_{01}$ ,  $PM_{02}$  y  $PM_{03}$ ; mientras que para el punto de muestreo  $PM_{04}$  y  $PM_{05}$  el estado ecológico es malo, debido al peso por parte de intervención antrópica que recae en este punto, igual al hecho de que se encuentra en una zona urbana y gran parte de su pasa por todo centro de la cabecera cantonal de Gualaceo, haciendo evidente la afección al estado ecológico las descargas de aguas residuales, lugares de ocio, cultivos y vertidos menores.

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

- Promover como bioindicadores de calidad en cuerpos hídricos el uso de macroinvertebrados acuáticos, ya que su aplicación es fácil por medio del nivel taxonómico requerido, ahorro de tiempo y un mejor manejo de recursos económico, además de que existen guías muy bien explicadas para el correcto muestreo de macroinvertebrados como el protocolo simplificado CERA-s o el desarrollado por ETAPA, la Universidad de Cuenca y SENAGUA (Protocolo de evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región Austral del Ecuador).
- Dar continuidad a estudios de biomonitoreo en la subcuenca del río Santa Bárbara puesto que cada día existen más actividades que desgastan la calidad y el estado ecológico de los sistemas acuáticos.
- Para la evaluación del bosque de ribera tomar en cuenta especies herbáceas, ya que pueden llegar a contribuir en los índices analizados.
- Es primordial realizar programas de reforestación a lo largo de los ríos, con el objetivo de recuperar cubierta vegetal mediante vegetación nativa.
- Se recomienda poner más atención por parte de las entidades del estado para realizar campañas de monitoreo de parámetros fisicoquímicos no únicamente 2 veces al año como se vienen realizando, o peor aún emitir informes solo cuando se reciben llamados de atención por parte de la comunidad.
- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos se recomienda a los responsables medir todos los parámetros determinados por la norma legal TULSMA, ya que en los datos proporcionados no se tiene registros de Fosfatos ni de Nitratos, factores que se consideran importantes por la realidad de las actividades de cultivos y ganaderos de nuestras zonas.

- Realizar programas participativos con la comunidad, ya sean con fines de protección de ríos y riberas, así como inclusión en los monitoreos. Sobre todo, involucrar a los GAD's cantonales para el manejo del bosque ripario ya que son los responsables del uso de suelo de cada cantón.
- Finalmente es recomendable realizar monitoreos de macroinvertebrados acuáticos en época lluviosa y seca puesto que si existen diferencias significativas entre ambas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, K. J., & Ballesteros, A. M. (2018). *Estudio Preliminar De La Calidad Del Agua En La Quebrada La Balsa Y Valoración Socioeconómica De La Comunidad Del Vergel (Ibagué - 2018)*. UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.
- Acosta, R., Hampel, H., González, H., Mosquera, P., Sotomayor, G., & Galarza, X. (2014). Protocolo de evaluación de la calidad biológica de los ríos de la región austral del Ecuador. *ETAPA EP, SENAGUA - DHS. Universidad de Cuenca. Programa PROMETEO de la SENESCYT*, 64.
- Aguirre, J. F. (2011). *Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del Río Yanuncay*. 232. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1197/14/UPS-CT002208.pdf>
- Azabache, L. A. (2018). Determinación de la calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, Grandre y Mashcón- Cajamarca, en función de la macrofauna bentónica como bioindicador. En *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009>
- Aznar Jiménez, A. (2000). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS*. 2(23), 12.
- Beltrán, J. E., & Rangel, J. O. (2012). Modelación Dinámica De Los Sólidos Suspendidos Totales En El Humedal Jaboque, Bogotá (Colombia). *Colombia Forestal*, 15(2), 191-205. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.2.a04>
- Bolaños, J. D., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bustamante, C. A., Naranjo, J. F., & Ahumada, J. M. (2014). Determinación de la calidad ecológica del río Tuluá Valle del Cauca. *Revista Mutis*, 4(2), 35-43. <https://doi.org/10.21789/22561498.955>
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. En *Ecociencia* (Vol. 2). EcoCiencia. <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56374.pdf>
- Carrillo, M. S., & Urgilés, P. D. (2016). *Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los Ríos Mazar y Pindilig*. 142. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- Carvacho, C. A. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados*

- bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del limari en Chile*. 62.
- Cedeño, A. V., & Quinteros, E. D. (2016). *Determinación de la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Carrizal*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2015). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 16(31), 66-71.
- Córdoba, M. A., Del Coto, V. F., & Basualdo, J. A. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3), 105-119. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86315692002.pdf>
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). En *Proyecto FUCARA* (p. 76). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fernández, A., & Du Mortier, C. (2012). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. *Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua*, 17-32. [https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/01\\_Capitulo\\_01.pdf](https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/01_Capitulo_01.pdf)
- Ferriol Molina, M., & Merle Farinós, H. (2013). *Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales*. (p. 10). [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/Microsoft Word - articulo docente def.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16285/Microsoft%20Word%20-%20articulo%20docente%20def.pdf?sequence=1)
- GAD Chordeleg. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Chordeleg 2015* (pp. 1-471).
- GAD Gualaceo. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Gualaceo 2015* (pp. 1-447).
- GAD Sigsig. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Sigsig 2015* (pp. 1-342).
- González, H., & Córdoba, G. (2017). Índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos andinos del sur del Ecuador (IMRASE). *Departamento de Posgrados, Maestría en Gestión Ambiental, Universidad del AZUAY, Ecuador.*, 1-40.

- González, H., Crespo, E., Acosta, R., & Hampel, H. (2018). Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del cantón Cuenca. *ETAPA EP. Cuenca*, 156.
- Hahn, C., Toro, D., Grajales, A., Duque, G., & Serna, L. (2009). DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE INDICADORES BIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS, EN LA ESTACIÓN PISCÍCOLA, UNIVERISDAD DE CALDAS, MUNICIPIO DE PALESTINA, COLOMBIA. *BOLETÍN CIENTÍFICO CENTRO DE MUSEOS MUSEO DE HISTORIA NATURAL*, 13(2), 89-105.
- Iriondo Saint-Gerons, A., & Mota Adrados, J. (2004). *Desarrollo de una red neuronal para estimar el oxígeno disuelto en el agua a partir de instrumentación de E.D.A.R.*
- Jesús, A. A., Panta, E. R., Reyes, F. G., Cabañero, J. J. A., Acosta, E. H., Ayala, C. R., Saenz, E. M., Salcedo, F. P., Nicolas, E. N., & Sosa, E. S. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río amajac, hidalgo, México: Diagnóstico y predicción. *Phyton*, 75, 71-83.
- Lojano, L. E., & Lucero, G. A. (2011). *Estado de la calidad físico - químico, bacteriológico y biológico del agua, de la subcuenca del río Santa Bárbara, en una estación climática, cantones Sigsig , Chordele g y Gualaceo provincia del Azuay – Ecuador.* 1-75.  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/168/1/08089.pdf>
- Martella, M. B., Trumper, E. V, Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología Evaluación de la biodiversidad Esfuerzo de muestreo. *Reduca (Biología)*. *Serie ecología*, 5(1), 71-115.
- Mendoza, Z. A. (2013). *Guia De Metodos Para Medir La Biodiversidad*. 74.  
<https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Meza, A. M., & Rubio, J. (2012). CALIDAD DE AGUA Y COMPOSICIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO CHINCHINÁ. 34(2), 443-456.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *MT Manueles & Tesis SEA*, 1, 86.
- Palma, A., Figueroa, R., & Ruiz, V. H. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana*, 73(1), 57-63.
- Pauta, L. L. (2016). *Cálculo del índice de biodiversidad de especies faunísticas en el Bosque Protector Aguarongo.* 73.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11895/1/UPS-CT005647.pdf>
- Peña, E. (2007). *Calidad de Agua - Trabajo de Investigación Oxígeno Disuelto (OD)*.

6. <http://es.slideshare.net/JAHADIEL/trabajo-de-investigacion-tipos-de-bridas-para-hoy>
- Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 47-58. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000300047>
- Pütz, P. (2008). *Eliminación y determinación de fosfato*.
- Quito, A. V. (2020). *Propuesta de restauración del ecosistema ripario y calidad de agua del río Burgay: Planteamiento de un modelo conceptual*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data / Revista de Investigación*, 17, 71-80. <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Ramos, L. M., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biologica Colombiana*, 13(3), 87-98.
- Robert, P. M. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Cuba. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1), 25--36. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181230079005>
- Rojas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. 2, 1-353. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fift794d/doc/fift794d.pdf>
- Samaniego, G. (2019). *Análisis de la calidad de agua de la microcuenca del río Alcacay como herramienta de gestión de los recursos hídricos*.
- SENAGUA. (2017). Boletín de la estadística sectorial del agua. *Agencia de Regulación del Agua*, 82. [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA\\_08feb.compressed-2.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf)
- Terneus, E., Hernández, K., & Racines, M. J. (2012). Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza - Ecuador. *Revista de Ciencias, Universidad del Valle*, 31-45. <http://praxisfilosofica.univalle.edu.co/index.php/rciencias/article/view/2043/196>
- Toasa, F. A. (2012). *Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS)*.
- Toledo B, M. B. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO*

*BIOINDICADORES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIMBORAZO. 155.*

- Yépez Rosado, Á., Yépez Yanez, Á. B., Urdánigo Zambrano, J., Morales Cabezas, D. C., Guerrero Chuez, N. M., & TayHing Cajas, C. C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i1.217>
- Zhen, B. Y. (2010). Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). *UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED*, 45-61.

## ANEXOS

*Anexo 1: Datos INAMHI para la estación meteorológica M0424 SÍGSIG*

	AÑO																
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	PROMEDIO
<b>enero</b>	73,8	54,5	7,6	51,1	44,8	40,6	8,20	46,8	46	36,2	29	88,3	25,7	18,2	74,1	145,5	<b>49,40</b>
<b>febrero</b>	41,4	143,5	86,6	53,9	59	50,1	14,30	81,5	35,8	56,2	140,2	58,1	0	25,3	96,7	69,5	<b>63,26</b>
<b>marzo</b>	74,2	148	38,9		46,1	77,3	31,00	123,5	56,5		189,2	70,4	37,5	68,1	33,3	60,4	<b>75,31</b>
<b>abril</b>	99,4				135	52,6	51,00	76,2	54	87,9		62,5	35,3	83,4	80,6	26,1	<b>70,33</b>
<b>mayo</b>			111,7	65,9	38		58,20	74,8	48,3	69,5	148,7	53,4	115,2	67,4	64,7	55,9	<b>74,75</b>
<b>junio</b>	78,5	48,3		32	64,9	34,5	26,30	35,5	64,8	211,8	63,8	80,7	123,9	115,5	69,8	54,7	<b>73,67</b>
<b>julio</b>	94,5	86,6	22,6	45,9	70,2	45,2	41,30			39,5	61,8	55,7	67	101,6	80	104,2	<b>65,44</b>
<b>agosto</b>	18,9	90,9	81,8	32,9	82,9		40,10	29,8	25,2	67,3	69,7	23,3	54,9	62,3	122,9	63,5	<b>57,76</b>
<b>septiembre</b>	10,5		45,7	57,1	34,3		34,50	6,6	31	76,1	40,8	10,7	24,8	91,4	74,2	83,6	<b>44,38</b>
<b>octubre</b>	111,2	65,4	46,6	35,9	37,4	35,5	25,90	98	46	147,1	82,4	4,7	53,8	5,7	47	63	<b>56,60</b>
<b>noviembre</b>	47,1	910,8		63,8	23,5			36,4	62,5	81,4	147,8	23,5	43	44,8	60,2	29,7	<b>121,12</b>
<b>diciembre</b>	31,6	114,6		51,8	22,9		51,20		12,4	75,3	62,7	23	115,5	68,5	70,2	3,3	<b>54,08</b>

Fuente: INAMHI

**Anexo 2: Precipitaciones promedio para la estación meteorológica M0139 GUALACEO  
1998-2013**

<b>mes</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
enero	62,9
febrero	66,5
marzo	88,8
abril	94,3
mayo	49,7
junio	34,2
julio	29,7
agosto	21,7
septiembre	28,9
octubre	64,4
noviembre	70,2
diciembre	58,6

*Fuente: (GAD Gualaceo, 2015)*

Anexo 3: Formato de evaluación del IHF

**TABLA 1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL HABITAT FLUVIAL EN LA REGION AUSTRAL DEL ECUADOR**

APARTADOS		PUNTUACIÓN		
<b>1. Inclusión y limitación de sustrato</b>				
	Piedras y cantos no fijados por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%.	10		
	Piedras y cantos poco fijados por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5		
	Piedras y cantos medianamente fijados por sedimentos finos. Inclusión > 60%.	3		
	Sólo sustrato fino (arena y/o limo)	1		
	Sólo grandes bloques	0		
TOTAL (escoger una categoría)				
<b>2. Frecuencia de rápidos</b>				
	Alta frecuencia de rápidos.	10		
	Escasa frecuencia de rápidos.	8		
	Ocurrencia ocasional de rápidos.	6		
	Constancia de flujo laminar o rápidos someros.	4		
TOTAL (escoger una categoría)				
<b>3. Composición del sustrato</b>				
	Bloques y Piedras	Cantos y Gravas	Arena	Arcilla y Limo
Unid. Muest. 1				
Unid. Muest. 2				
Unid. Muest. 3				
Unid. Muest. 4				
Unid. Muest. 5				
Unid. Muest. 6				
Unid. Muest. 7				
Unid. Muest. 8				
Total Observ.				
	% Bloques y piedras		≤ 2 Observaciones	2
			> 2 Observaciones	5
	% Cantos y gravas		≤ 2 Observaciones	2
			> 2 Observaciones	5
	% Arena		≤ 2 Observaciones	2
			> 2 Observaciones	5
	% Arcilla y Limo		≤ 2 Observaciones	2
			> 2 Observaciones	5
TOTAL (sumar categorías)				
<b>4. Regímenes de velocidad / profundidad</b>				
somero: < 0.5 m	4 categorías: lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.			10
lento: < 0.3 m/s	Sólo 3 de las 4 categorías			8
	Sólo 2 de las 4 categorías			6
	Sólo 1 de las cuatro categorías			4
TOTAL (escoger una categoría)				
<b>5. Sombra en el cauce</b>				
	Sombreado con ventanas			10
	Totalmente en sombra			7
	Grandes claros			5
	Expuesto			3
TOTAL (escoger una categoría)				
<b>6. Elementos heterogeneidad</b> (si hay ausencia de alguna categoría, el valor debe ser 0 puntos)				
	Hojasca	10 - 75%		
		< 10% o > 75%		
	Presencia de troncos y ramas			2
	Raíces expuestas			2
	Diques naturales			2
TOTAL (sumar categorías)				
<b>7. Cobertura de vegetación acuática</b> (si hay ausencia de alguna categoría, el valor debe ser 0 puntos)				
	Plocon + briófitos	10 - 50%		
		< 10% o > 50%		
	Pecton	10 - 50%		
		< 10% o > 50%		
	Fanerógamas	10 - 50%		
		< 10% o > 50%		
TOTAL (sumar categorías)				
<b>PUNTUACIÓN FINAL</b> (suma de las puntuaciones de cada apartado)				

Fuente: (Acosta et al., 2014)

**Anexo 4: Formato de evaluación del QBR**

**TABLA 2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA RIBERA EN LA REGION AUSTRAL DEL ECUADOR: ECOSISTEMAS DE BOSQUES DE RIBERA**

OBSERVACIÓN IMPORTANTE: El puntaje máximo de cada apartado no puede ser mayor de 25 puntos ni ser negativo

APARTADOS	PUNTUACIÓN	
	Orilla Izq.	Orilla Der.
<b>1. Grado de cubierta de la zona de ribera</b> (las plantas anuales no se contabilizan)		
> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	12.5	12.5
50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	5	5
10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	2.5	2.5
< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	0	0
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	5	5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es > 50%	2.5	2.5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre 25 - 50%	-2.5	-2.5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es < 25%	-5	-5
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>TOTAL (Sumar ambas orillas)</b>		
<b>2. Estructura de la cubierta de la zona de ribera</b>		
Recubrimiento de árboles es > 75 %	12.5	12.5
Recubrimiento de árboles es entre 50 -75 %	5	5
Recubrimiento de árboles es < 50 %	2.5	2.5
Sin árboles, arbustos por debajo del 10 % o sólo vegetación herbácea	0	0
Gradiente de estratificación evidente y conectado: Dosel de árboles, sotobosque arbustivo y vegetación herbácea	5	5
Concentración de arbustos es > 50 %	5	5
Concentración de arbustos es entre 25 -50 %	2.5	2.5
Concentración de arbustos es < 25 %	1	1
Presencia de epifitas (p. ej. Bromelias)	2.5	2.5
Árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin continuidad	-2.5	-2.5
Existe una distribución regular (linealidad) en los árboles	-5	-5
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>TOTAL (Sumar ambas orillas)</b>		
<b>3. Calidad de la cubierta de la zona de ribera</b>		
Todos los árboles de la zona de ribera autóctonos	12.5	12.5
Como máximo un 25% de la cobertura es de árboles introducidos (Pinus, Eucalyptus y Salix)	5	5
26 - 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	2.5	2.5
Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas	0	0
Presencia de cultivos, pastizales o actividad ganadera	-5	-5
Presencia de construcciones (p. ej. casas, industrias)	-5	-5
Presencia de senderos o caminos	-2.5	-2.5
Presencia de vías asfaltadas	-5	-5
Presencia de otras actividades que modifiquen las riberas (p. ej. dragados, minería informal)	-5	-5
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>TOTAL (Sumar ambas orillas)</b>		
<b>4. Grado de naturalidad del canal fluvial</b>		
El canal del río no ha sido modificado		25
Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal		10
Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río		5
Presencia de alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río		-15
Presencia de alguna estructura sólida dentro del lecho del río (p. ej. columnas de puentes)		-10
Presencia de pequeños vertidos		-5
Presencia de grandes vertidos		-15
Presencia de pequeñas derivaciones del flujo normal del agua		-5
Presencia de grandes derivaciones del flujo normal del agua		-15
Presencia de basuras de forma puntual pero abundantes		-5
Presencia de un basurero permanente en el tramo estudiado		-10
Presencia de lavanderías informales de ropa		-5
<b>TOTAL</b>		
<b>PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones de cada apartado)</b>		

Fuente: (Acosta et al., 2014)

**Anexo 5: Especies vegetales identificadas en los puntos de muestreo**

Nombre común	Nombre científico	Registro
Sigsal	<i>Cortadeira jubata</i>	
Chilca	<i>Baccharis latifolia</i>	
Helecho	<i>Tracheophyta</i>	
Huicundo	<i>Tillandsia complanata</i>	

Mora silvestre	<i>Rubus glaucus</i>	
Joyapa	<i>Macleania rupestris</i>	
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	
Pino	<i>Pynus silvestris</i>	
Capulí	<i>Prunus serotina Ehrh.</i>	

Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Labill.</i>	
-----------	--	---

**Anexo 6: Macroinvertebrados registrados para el muestreo 1 - noviembre**

<b>PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	8	
Oligochaeta		1	
Trichoptera	<i>Anomalopsychidae</i>	10	

Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
Ephemeroptera	<i>Oligoneuriidae</i>	10	
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
<b>PM<sub>02</sub> Puente de La Unión</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>	5	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Diptera	<i>Dolichopodidae</i>	4	

Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
Trichoptera	<i>Limnephilidae</i>	7	
Diptera	<i>Blepharoceridae</i>	10	
Trichoptera	<i>Hydrobiosidae</i>	8	
Diptera	<i>Muscidae</i>	2	
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	8	

Ephemeroptera	<i>Oligoneuriidae</i>	10	
Plecoptera	<i>Perlidae</i>	10	
<b>PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
Diptera	<i>Simuliidae</i>	5	
Diptera	<i>Blepharoceridae</i>	10	
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	4	

Diptera	<i>Athericidae</i>	10	
Coleóptera	<i>Psephenidae</i> (larva)	5	
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	8	
Trichoptera	<i>Leptoceridae</i>	8	
Plecoptera	<i>Perlidae</i>	10	
<b>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbabum</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Basommatophora	<i>Physidae</i>	3	

Tricladida	<i>Planariidae</i>	5	
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	8	
Trichoptera	<i>Limnephilidae</i>	7	
Diptera	<i>Blepharoceridae</i>	10	
Coleóptera	<i>Gyrinidae</i>	3	
Plecoptera	<i>Perlidae</i>	10	
<b>PM<sub>05</sub> Puente de Certag</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>

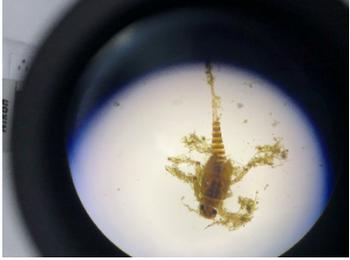
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	4	

**Anexo 7: Macroinvertebrados registrados para el muestreo 2 - diciembre**

<b>PM<sub>01</sub> Mina San Sebastián</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Diptera	<i>Limoniidae</i>	4	

Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Trichoptera	<i>Calamoceratidae</i>	10	
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
<b>PM<sub>02</sub> Puente de La Unión</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	4	
Ephemeroptera	<i>Leptohyphidae</i>	7	
Oligochaeta		1	

Coleóptera	<i>Elmidae</i> (adulto)	5	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
Diptera	<i>Tipulidae</i>	5	
<b>PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Diptera	<i>Simuliidae</i>	5	
Oligochaeta		1	

Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	4	
<b>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbabum</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Trichoptera	<i>Calamoceratidae</i>	10	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Basommatophora	<i>Physidae</i>	3	
Tricladida	<i>Planariidae</i>	5	
Amphipoda	<i>Hyalellidae</i>	6	

Diptera	<i>Simuliidae</i>	5	
<b>PM<sub>05</sub> Puente de Certag</b>			
Orden	Familia	Puntaje ABI	Registro
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Diptera	<i>Muscidae</i>	2	
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
Diptera	<i>Dolichopodidae</i>	4	
Amphipoda	<i>Hyalellidae</i>	6	

Oligochaeta		1	
-------------	--	---	---

**Anexo 8: Macroinvertebrados registrados para el muestreo 3 - enero**

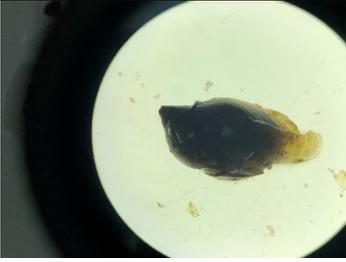
PM <sub>01</sub> Mina San Sebastián			
Orden	Familia	Puntaje ABI	Registro
Coleóptera	<i>Ptilodactylidae</i> (larva)	5	
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
Coleóptera	<i>Elmidae</i> (adulto)	5	
Coleóptera	<i>Dytiscidae</i>	3	

Plecoptera	<i>Perlidae</i>	10	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	8	
Ephemeroptera	<i>Leptohyphidae</i>	7	
Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>	5	
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
<b>PM<sub>02</sub> Puente de La Unión</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>

Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>	5	
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
Basommatophora	<i>Physidae</i>	3	
Diptera	<i>Simuliidae</i>	5	
Coleóptera	<i>Elmidae (adulto)</i>	5	
Ephemeroptera	<i>Leptohyphidae</i>	7	

Tricladida	<i>Planariidae</i>	5	
Oligochaeta		1	
<b>PM<sub>03</sub> Sector puente de San Juan</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Plecoptera	<i>Perlidae</i>	10	
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
Coleóptera	<i>Ptilodactylidae</i>	5	
Diptera	<i>Simuliidae</i>	5	

Diptera	<i>Tipulidae</i>	5	
Trichoptera	<i>Hydrobiosidae</i>	8	
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	10	
<b>PM<sub>04</sub> Sector puente Bimbabum</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Amphipoda	<i>Hyaellidae</i>	6	
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	4	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	

Basommatophora	<i>Physidae</i>	3	
Tricladida	<i>Planariidae</i>	5	
Oligochaeta		1	
<b>PM<sub>05</sub> Puente de Certag</b>			
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Puntaje ABI</b>	<b>Registro</b>
Diptera	<i>Chironomidae</i>	2	
Oligochaeta		1	
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	8	

Basommatophora	<i>Physidae</i>	3	
Amphipoda	<i>Hyalellidae</i>	6	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	

Anexo 9: Parámetros fisicoquímicos 2019 proporcionados por el Ministerio del Ambiente y Agua

PARÁMETROS ANALIZADOS		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9.	Muestra 10	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE**
Análisis de la microcuenca del Santa Barbara	Unidades	antes minera san Sebastián	después minera san Sebastián	después de minera chorro	estación hidrometeorológica Tasqui	playas de Zhingate	punte la unión	punte San Juan.	punte Bimbabum	salida Gualaceo.	punte de Certag.	Tabla 2 (1)
<b>Parámetros de Campo</b>												
Potencial Hidrógeno	pH	8,91	8,06	8,45	8,76	8,08	7,74	7,65	7,69	7,43	7,55	6,5 - 9
Conductividad	us/cm	14	15,32	13,54	37,5	6	10	10	19	10,1	23	-
Sólidos disueltos	mg/l	6,49	7,9	7	25	4	7	6	12	12	15	-
Temperatura	°C	12,6	12,08	12,07	12,1	12,1	12,9	13,1	13,7	13,9	14,1	condiciones naturales mas de 3 máxima 20.
Oxígeno disuelto	mg/l	9,3	8,49	8,45	8,2	8,95	8,97	8,48	8,6	8,26	8,15	no menor a 6 mg/l
Oxígeno saturación	%	90,40%	82,70%	86,54%	79,40%	86%	86,10%	83,70%	86,00%	82,60%	83,10%	no menor a 80 %
Alcalinidad	mg/l	40	40	40	40	20	20	40	80	50	120	-
Color	U	0	0	0	4,32	5,43	2,12	3,43	4,56	76	4,76	-
turbiedad	NTU	0	1,28	2,34	3,59	3,01	4,47	4,58	3,74	4,79	4,97	-
Dureza total	mg/l	25	50	50	50	25	25	50	50	90	120	-
<b>Aniones y no metales</b>												
Fosfato	mg/l	1,28	2,68	0,34	0,11	0,05	0,08	0,08	0,11	0,2	0,03	-

<b>Nitrato</b>	mg/l	2,3	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>Sulfatos</b>	mg/l	18	25	0	0	140	0	0	0	0	34	0	-
<b>Nitrito</b>	mg/l	0,015	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>Metales pesados.</b>													
<b>cobre</b>	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0,02</b>
<b>zinc</b>	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0,18</b>
<b>niquel</b>	mg/l	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0	<b>0,025</b>
<b>aluminio</b>	mg/l	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,01	<b>0,1</b>
<b>hierro</b>	mg/l	0,09	0,14	0,13	0,13	0,19	0,16	0,16	0,17	0,15	0,13	0,13	<b>0,3</b>
<b>microbiológicos.</b>													
<b>coliformes totales</b>	NMP/100ml	20	10	27	28	18	90	40	40	60	50	50	-
<b>coliformes fecales</b>	NMP/100ml	1	0	7	1	2	11	30	24	30	40	40	-

(1) ACUERDO MINISTERIAL No. 097-A Dado en Quito el 30 de Julio del 2015 SUSTITUYESE EL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA

**Anexo 10: Recolección de muestras**



**Anexo 11: Fase de laboratorio (análisis e identificación de macroinvertebrados)**



**Anexo 12: Cálculo del índice  $ICA_{NSF}$  para el  $PM_{01}$ ,  $PM_{02}$ ,  $PM_{03}$ ,  $PM_{04}$  y  $PM_{05}$ ; respectivamente**

Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	95
Fecal Coliform	0.16	63
pH	0.11	39
Biochemical oxygen demand	0.11	
Temperature Change	0.10	35
Total Phosphate	0.10	34
Nitrates	0.10	94
Turbidity	0.08	99
Total Solids	0.07	81

Your IP Address: 200.24.159.1  
 Factors Entered: 8  
 Overall Water Quality Index: 68

Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	92
Fecal Coliform	0.16	45
pH	0.11	91
Biochemical oxygen demand	0.11	
Temperature Change	0.10	35
Total Phosphate	0.10	97
Nitrates	0.10	97
Turbidity	0.08	87
Total Solids	0.07	81

Your IP Address: 200.24.159.1  
 Factors Entered: 8  
 Overall Water Quality Index: 77

### Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	90
Fecal Coliform	0.16	55
pH	0.11	92
Biochemical oxygen demand	0.11	
Temperature Change	0.10	34
Total Phosphate	0.10	97
Nitrates	0.10	97
Turbidity	0.08	87
Total Solids	0.07	81

Your IP Address: 200.24.159.1  
 Factors Entered: 8  
 Overall Water Quality Index: 78

### Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	92
Fecal Coliform	0.16	55
pH	0.11	91
Biochemical oxygen demand	0.11	
Temperature Change	0.10	33
Total Phosphate	0.10	96
Nitrates	0.10	97
Turbidity	0.08	89
Total Solids	0.07	82

Your IP Address: 200.24.159.1  
 Factors Entered: 8  
 Overall Water Quality Index: 79

### Water Quality Report

Factor	Weight	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	89
Fecal Coliform	0.16	52
pH	0.11	92
Biochemical oxygen demand	0.11	
Temperature Change	0.10	33
Total Phosphate	0.10	99
Nitrates	0.10	97
Turbidity	0.08	86
Total Solids	0.07	83

Your IP Address: 200.24.159.1  
 Factors Entered: 8  
 Overall Water Quality Index: 78



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL

Yo, **Jorge Andrés Saquicela Prado** portador de la cédula de ciudadanía N° 0105967632. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Determinación del estado ecológico del río Santa Bárbara, cantones: Sígsig, Chordeleg y Gualaceo”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de febrero de 2021

F:   
**Jorge Andrés Saquicela Prado**  
C.I. 0105967632