# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

## DIRECCIÓN DE POSGRADOS

### MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

### MENCIÓN PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

**TEMA:**

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN HÍDRICA DEL FONAG PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN HÍDRICA**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental.

**Autora:** Parra Pedraza Michelle Jazmín

**Tutor:** Lcdo. Ibon Tobes Sesma PhD

QUITO – ECUADOR

2020

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Michelle Jazmín Parra Pedraza, declaro ser autora del Trabajo de Investigación con el nombre "ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN HÍDRICA DEL FONDO PARA LA PROTECCIÓN DEL AGUA (FONAG) PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN HÍDRICA", como requisito para optar al grado de Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad Tecnológica Indoamérica (UTI) tenga convenios. La UTI no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán comprometidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 3 días del mes de febrero de 2020, firmo conforme:

Autor: Michelle Parra
Firma: …….
Número de Cédula: 1724421662
Dirección: Pichincha, Quito, La Magdalena, Cdla. Atahualpa.
Correo Electrónico: mparra1094@gmail.com
Teléfono: 0998293636

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación "ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN HÍDRICA DEL FONAG PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN HÍDRICA" presentado por Michelle Jazmín Parra Pedraza, para optar por el Título de Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 03 de febrero de 2020

…….

PhD. Ibon Tobes Sesma

C.C.**:** 1757159213

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental, son absolutamente originales, auténticos, personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora.

Quito, 03 de febrero de 2020

……

Michelle Jazmín Parra Pedraza

C.C.: 1724421662

## APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: "ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN HÍDRICA DEL FONAG PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN HÍDRICA", previo a la obtención del Título Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, de de 2020

……

PhD. Santiago Bonilla Bedoya

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

……

M.Sc. Ana Sofía Falconí López

VOCAL

……

PhD. Ibon Tobes Sesma

VOCAL

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mis padres, Olga Pedraza y Bolívar Parra, quienes con su esfuerzo, paciencia y amor me han apoyado para cumplir mis metas personales y profesionales, gracias por sus palabras de aliento, sus consejos y oraciones que me motivaron a ser mejor cada día.

A mi hermano Bolívar Parra por su cariño, apoyo incondicional y estar junto a mí en el transcurso de la maestría, gracias a su ejemplo de perseverancia y superación he logrado cumplir mis sueños.

A mi madrina Lourdes Pedraza, por su acompañamiento incondicional a lo largo de mi vida, gracias por sus oraciones y consejos que me han ayudado a vencer las adversidades.

A la Ing. Tatiana Mosquera MSc, por sus consejos que me han ayudado a ser mejor cada día en el ámbito personal y profesional. Gracias por motivarme a estudiar esta maestría y por ser un gran ejemplo para mí.

A mis familiares y amigos por su apoyo, por el amor brindado y los consejos recibidos.

**AGRADECIMIENTO**

Al Fondo para la Protección del Agua (FONAG) por su apoyo técnico y económico para realizar la presente investigación. Un agradecimiento especial a Luna Delerue, Wilson Vega, Paola Fuentes y Enrique Quinteros, quienes compartieron conmigo todos sus conocimientos y me brindaron su apoyo en todo momento. De igual manera, agradezco a los compañeros guardapáramos de las Áreas de Conservación Hídrica del FONAG, por su ayuda durante los monitoreos.

A la Universidad Tecnológica Indoamérica y a sus docentes por impartir sus conocimientos y ayudarme a adquirir nuevas destrezas y habilidades. Un agradecimiento especial a Ibon Tobes, por guiarme en el desarrollo de mi tesis.

A mis compañeros de la maestría por su apoyo, y por todos los momentos que hemos compartido durante estos dos años.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA ..... i
AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL ..... ii
APROBACIÓN DEL TUTOR ..... iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD ..... iv
APROBACIÓN TRIBUNAL ..... v
DEDICATORIA ..... vi
AGRADECIMIENTO ..... vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS ..... viii
ÍNDICE DE TABLAS ..... x
ÍNDICE DE IMÁGENES ..... xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS ..... xii
RESUMEN EJECUTIVO ..... **¡Error! Marcador no definido.**
ABSTRACT ..... xiv
INTRODUCCIÓN ..... 1
Importancia y actualidad ..... 1
Justificación ..... 3
Planteamiento del problema ..... 4
OBJETIVOS ..... 6
Objetivo general ..... 6
Objetivos específicos ..... 6

**CAPÍTULO I**

**MARCO TEÓRICO**

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 7
RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR ..... 9
ECOSISTEMAS FLUVIALES ALTOANDINOS ..... 10
CONTAMINACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS ..... 10
Contaminación por eutrofización ..... 11
CALIDAD DE AGUA ..... 11
INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUA ..... 12
Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI) ..... 13
Índice de Calidad del Agua (ICA) ..... 13

INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DE AGUA ..... 15
Índices bióticos para macroinvertebrados ..... 16
Indicadores de calidad de hábitat de ríos..... 20

**CAPÍTULO II**

**DISEÑO METODOLÓGICO**

ENFOQUE ..... 22
MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN..... 22
NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN..... 22
POBLACIÓN Y MUESTRA ..... 23
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 23
PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ..... 26
PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN..... 26
Recopilación de la información..... 26
Selección de sitios de estudio y puntos de muestreo..... 26
Descripción de los sitios de estudio ..... 29
DISEÑO DE ESTUDIO..... 34
Monitoreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos ..... 35
Monitoreo e identificación de macroinvertebrados..... 36
Monitoreo del hábitat fluvial y de ribera..... 37
Análisis de datos..... 38

**CAPÍTULO III**

**RESULTADOS**

CALIDAD DE AGUA SEGÚN PARÁMETROS AMBIENTALES..... 39
ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)..... 45
ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (TSI)..... 46
CALIDAD DEL HÁBITAT FLUVIAL (IHF) ..... 47
CALIDAD DEL HÁBITAT DE VEGETACIÓN DE RIBERA (QBR-And) . 48
CALIDAD DEL AGUA SEGÚN INDICADORES BIOLÓGICOS ..... 49
CONCLUSIONES .....55
RECOMENDACIONES .....58
BIBLIOGRAFÍA.....59

## ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro Nº 1. Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías ..... 12
Cuadro Nº 2. Nivel trófico según el TSI ..... 13
Cuadro Nº 3. Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF ..... 14
Cuadro Nº 4. Calidad de agua asociada al valor del ICA y criterio para consumo humano (ICA-NSF) ..... 14
Cuadro Nº 5. Ventajas y desventajas del empleo de macroinvertebrados como bioindicadores ..... 16
Cuadro Nº 6. Calidad de agua según el Índice EPT ..... 17
Cuadro Nº 7. Calidad de agua según el Índice ABI ..... 18
Cuadro Nº 8. Calidad de agua según Cociente de CE del ASPT-Ecuador ..... 19
Cuadro Nº 9. Calidad de la vegetación de ribera según el índice QBR-And ..... 21
Cuadro Nº 10. Calidad del sistema fluvial según el índice IHF ..... 21
Cuadro Nº 11. Población y sitio de estudio ..... 23
Cuadro Nº 12. Operacionalización de la variable independiente ..... 24
Cuadro Nº 13. Operacionalización de la variable dependiente ..... 25
Cuadro Nº 14. Preguntas básicas para la recolección de información ..... 26
Cuadro Nº 15. Criterios técnicos para la selección de sitios de estudio según las conclusiones de Encalada et al. (2017) ..... 27
Cuadro Nº 16. Puntos de muestro para el ACH Alto Pita ..... 29
Cuadro Nº 17. Antecedentes y descripción de los sitios de estudio ..... 30
Cuadro Nº 18. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos ..... 36
Cuadro Nº 18. Parámetros ambientales de los sitios de estudio (2019) ..... 40
Cuadro Nº 20. Estado trófico de los ríos del ACH Antisana ..... 46
Cuadro Nº 21. Composición de macroinvertebrados en cada ACH ..... 50
Cuadro Nº 22. Índices EPT, ABI y ASPT-E de los sitios de estudio (2014 – 2019) ..... 50

# ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen Nº 1 Características de los macroinvertebrados pertenecientes al orden Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera ..... 17

Imagen Nº 2 Puntuaciones de las diferentes familias utilizadas para los índices BMWP-Ecuador y ASPT-Ecuador aplicados a ríos de páramos mayores a 3500 msnm ..... 19

Imagen Nº3 Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo en las ACH Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo ..... 29

Imagen Nº4 Sitios de estudio del ACH Antisana ..... 32

Imagen Nº5 Sitios de estudio del ACH Alto Pita ..... 33

Imagen Nº6 Sitios de estudio del ACH Ponce Paluguillo ..... 34

Imagen Nº7 Diseño de muestreo en transecto de 100 metros ..... 35

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico Nº 1. Diseño de estudio ..... 35

Gráfico Nº 2. pH de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019) ..... 41

Gráfico Nº 3. Nitratos de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019) ..... 42

Gráfico Nº 4. Sólidos disueltos totales de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019) ..... 43

Gráfico Nº 5. Conductividad eléctrica de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019) ..... 44

Gráfico Nº 6. Coliformes fecales de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019) ..... 45

Gráfico Nº 7. ICA de los sitios de estudio (2019) ..... 46

Gráfico Nº 8. IHF de los sitios de estudio (2014 – 2019) ..... 47

Gráfico Nº 9. QBR-And de los sitios de estudio (2014 y 2019) ..... 49

Gráfico Nº 10 Análisis de PCA de parámetros físicos, químicos y biológicos de los sitios de estudio (2019) ..... 53

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL MENCIÓN PLANIFICACIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA EN LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN HÍDRICA DEL FONAG PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN HÍDRICA**

**AUTORA:** Parra Pedraza Michelle Jazmín

**TUTOR:** PhD. Ibon Tobes Sesma

## RESUMEN EJECUTIVO

Los ecosistemas fluviales altoandinos localizados en los páramos constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua para el Distrito Metropolitano de Quito. Sin embargo, en los últimos años han sido fuertemente alterados por actividades antrópicas. Por su importancia ecológica y social se crearon las Áreas de Conservación Hídrica (ACH) con el fin de proteger los principales recursos hídricos. Estos predios son administrados por el FONAG, donde llevan a cabo programas para mejorar la calidad de agua, el hábitat fluvial y la vegetación de ribera. El objetivo de la investigación es analizar la calidad del agua de las ACH Alto Pita, Antisana y Ponce Paluguillo para evaluar la eficacia de las estrategias de protección hídrica implementadas por el FONAG. En Alto Pita se realizó un análisis temporal (2014-2019) de la calidad de agua e integridad ecológica de cuatro ríos ubicados dentro del área de manejo. En Antisana se evaluaron dos ríos dentro del ACH y dos fuera del área del FONAG (sitios control). En Ponce Paluguillo se realizó un diagnóstico inicial de los parámetros evaluados en dos ríos dentro del ACH. En todos los sitios de estudio se analizaron parámetros físicos, químicos, biológicos y ecológicos. Los resultados del análisis global indican un incremento de la calidad del hábitat fluvial y zona ribereña en los ríos ubicados dentro de las ACH. El índice de calidad de agua (ICA) es mayor en los ríos manejados por el FONAG. Los índices EPT, ABI y ASPT-E calculados reflejan mejor calidad de agua en los sitios de manejo que en los de control. El estudio muestra la eficacia de las estrategias de protección hídrica implementadas por el FONAG. Se recomienda continuar con los programas de restauración y realizar monitoreos continuos para establecer tendencias temporales.

**DESCRIPTORES:** Macroinvertebrados, calidad de vegetación de ribera (QBR-And), calidad del hábitat fluvial (IHF).

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL MENCIÓN PLANIFICACIÓN AMBIENTAL**

**THEMA: ANALYSIS OF WATER QUALITY IN THE FONAG HYDRIC CONSERVATION AREAS FOR THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF HYDRIC PROTECTION AND CONSERVATION STRATEGIES**

**AUTHOR:** Parra Pedraza Michelle Jazmín

**TUTOR:** PhD. Ibon Tobes Sesma

## ABSTRACT

The High Andeans' fluvial ecosystems, located in the moorlands, have become the main source of water supplies for the Metropolitan District of Quito. However, they have been strongly modified by anthropic activities in the last years. The Hydric Conservation Areas were created because of their ecological and social importance whose objective is to protect the principal hydric resources. These areas, which are managed by the Water Protection Fund (FONAG), are the most accurate place where some projects are being developed to improve not only the quality of the water but also the fluvial habitat and the riverside vegetation. The purpose of this investigation is to analyze the water's quality in the ACH Alto Pita, Antisana and Ponce Paluguillo in order to take evidence from the efficiency of the hydric protection strategies implemented by the FONAG. There was a temporary analysis (2014-2019) of the water's quality and ecological integrity in Alto Pita, especially in four rivers located inside the management areas. Besides, there were not only some tests in two rivers located in the ACH, but also in two rivers which are out of the FONAG area (control sites). Furthermore, in Ponce Paluguillo, an initial diagnosis was made of parameters evaluated in two rivers into the ACH. In all of the study sites, physicochemical, biological and ecological parameters were evaluated. As a result, the global analysis clearly pointed out a quality growth of the fluvial habitat in the rivers located in the ACH. Moreover, the water's quality rate is better in rivers managed by the FONAG. The EPT, ABI and ASPT-E rates reflect some improvements in the water's quality when it's about a management river instead of a control river. In conclusion, the study shows the efficiency of the hydric protection strategies implemented by the FONAG. It's also recommended not only to carry on with the restoration programs but also to check the rivers in order to establish temporary tendencies.

**KEYWORDS:** Macroinvertebrates, riverside vegetation quality (QBR-And), fluvial habitat quality (IHF).

# INTRODUCCIÓN

## Importancia y actualidad

Este trabajo de titulación está relacionado con la línea de investigación de Funcionamiento del Medio Biofísico, porque nos permite comprender la interrelación existente entre la calidad del agua, la vegetación de ribera, el medio fluvial y la biodiversidad de macroinvertebrados presente en las Áreas de Conservación Hídrica (ACH) Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo.

Los recursos hídricos presentes en el Ecuador se ven amenazados en los últimos años por la alta presión antrópica que ocasiona su deterioro en calidad y en cantidad. Específicamente en las zonas altas de páramos, donde se originan las fuentes de aguas primarias, se realizan actividades productivas como ganadería y agricultura que generan fuertes impactos sobre la cobertura vegetal natural, la diversidad de especies de flora y fauna y el agua. De manera similar, la quema de pajonal y el sobrepastoreo ocasionan alteraciones significativas en la estructura y composición del ecosistema de páramo (Morales y Estévez, 2006).

Entre los servicios ecosistémicos que proporcionan los páramos se encuentran el de aprovisionamiento de agua dulce y de regulación hídrica. De hecho, este ecosistema provee hasta el 90% de agua que consume la población del Distrito Metropolitano de Quito (Hofstede, 2010). Sin embargo, durante los últimos años, las alteraciones ocasionadas en estos ecosistemas limitan la disponibilidad de los recursos hídricos no solo en cantidad, sino principalmente en calidad (Terneus y Yánez, 2018).

El deterioro de los ecosistemas de páramo es una problemática ambiental y social que ha motivado a diferentes instituciones públicas y privadas a buscar estrategias para proteger, gestionar y usar eficientemente los recursos hídricos provenientes de los páramos mediante prácticas sustentables. Por ejemplo, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito implementó el Plan de Manejo de la Calidad del Agua para garantizar el uso sustentable de este recurso y reducir las concentraciones de contaminantes en el agua mediante el levantamiento de

información que sirva como herramienta para prevenir y controlar las actividades que se realizan alrededor de los cuerpos de agua.

Otro actor involucrado en la gestión de recursos hídricos y cuyo trabajo es de vital importancia para proteger y conservar las fuentes de agua es el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) que creó el *Programa de Áreas de Conservación Hídrica Sostenible* para desarrollar estrategias y acciones que garanticen la protección de los recursos hídricos de importancia significativa para la ciudad de Quito (FONAG, 2018).

A pesar del esfuerzo realizado por los diversos gestores del agua para proteger y conservar los recursos hídricos, Acosta (2009) menciona que existen muy pocos estudios de investigación básica o aplicada; así como también, una escasa difusión de información para contrastar la elevada diversidad de los ecosistemas de páramos andinos y la explotación de sus recursos hídricos. Por lo tanto, el levantamiento de datos y análisis de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y biológicos en períodos de tiempo que permitan conocer el comportamiento de las fuentes de agua es de vital importancia.

De igual forma, la Secretaria Nacional del Agua – SENAGUA (2016) manifiesta que los datos levantados de los monitoreos de calidad de agua deben ser recolectados, analizados, sistematizados y accesibles a través de un sistema de información compartido por los diferentes gestores y usuarios del agua. Caso contrario, los datos se encuentran dispersos, se pierden y existe desperdicio de recursos. Además, se debe incorporar un enfoque integral que incluya el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos para contribuir a la gestión integrada de recursos hídricos.

En este contexto, Roldán (2016) considera necesario el uso de indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua porque permiten conocer el estado ecológico de los diferentes sistemas acuáticos. Uno de los bioindicadores más utilizados son los macroinvertebrados porque son abundantes, de amplia distribución, relativamente fáciles de recolectar e identificar, proporcionan

información que interpreta efectos acumulativos, poseen ciclos de vida largos, responden rápidamente a los tensores ambientales y varían poco genéticamente.

Basándose en lo expuesto anteriormente, es evidente la necesidad de evaluar la calidad de agua en los páramos que contienen las principales fuentes de abastecimiento para el Distrito Metropolitano de Quito mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos complementados con macroinvertebrados como bioindicadores para obtener datos relevantes que ayuden a los gestores del agua a tomar decisiones acertadas sobre su manejo y conservación.

Este proyecto aporta un diagnóstico sobre la calidad del agua con parámetros físicos, químicos, microbiológicos y biológicos; así como también, determina el estado de vegetación de ribera y de hábitat fluvial en las Áreas de Conservación Hídrica Alto Pita, Antisana y Ponce Paluguillo. Además, se realizaron un análisis temporal (2014 – 2019) y uno comparativo con sitios control para evaluar el impacto de las estrategias de conservación y protección hídrica implementadas por el FONAG.

**Justificación**

A nivel macro, se ha identificado como prioritaria la conservación de los ecosistemas de páramo por su importancia biológica al proveer los servicios ecosistémicos de apoyo para la formación del suelo, ciclo de nutrientes y polinización; así como también el de aprovisionamiento de agua dulce, regulación hídrica, del clima, de plagas y enfermedades; y finalmente, los culturales de identidad, estético, recreativo y de investigación (Hofstede, 2010).

Estos ecosistemas se han visto alterados por la intervención humana, razón por la cual, se incrementó el interés por protegerlos para salvaguardar los servicios ecosistémicos que ofrecen, especialmente el de regulación hídrica y abastecimiento de agua (Calles, 2015).

En busca de proteger los páramos, el FONAG adquirió conjuntamente con las Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) los

predios que constituyen las Áreas de Conservación Hídrica (ACH). Éstas son áreas estratégicas y de interés para la conservación, restauración y protección de las principales fuentes de agua. Uno de los objetivos de su creación es incrementar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad mediante la implementación de estrategias enfocadas en la recuperación de vegetación de ribera y la gestión apropiada de los recursos hídricos.

Además, el FONAG creó el Proyecto "*Estación Científica Agua y Páramos* (ECAP)*"* que apoya económica y técnicamente la ejecución de estudios que se enmarquen en sus líneas de investigación y que proporcionen información relevante para la toma de decisiones sobre el manejo integrado de los recursos hídricos que alimentan al Distrito Metropolitano de Quito.

Este proyecto al estar enmarcado dentro de la línea de investigación de calidad del agua fue financiado por el FONAG dentro de su programa de becas de la ECAP. Su ejecución se justifica por la necesidad de llevar a cabo un estudio que permita analizar la calidad del agua en los principales ríos localizados en las ACH Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo mediante el monitoreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que ayuden a identificar las condiciones puntuales y precisas en el agua; y complementarlo con la información proporcionada por los macroinvertebrados que detectan la contaminación térmica, orgánica, eutrofización, variación en la mineralización y alteración del caudal.

Los datos recopilados son analizados para establecer la calidad del agua mediante los índices ICA (calidad de agua según parámetros físicos, químicos y microbiológicos), EPT y ASPT-Ecuador (calidad de agua en función de los macroinvertebrados identificados) y TSE (Estado trófico según la concentración de fósforo total); y finalmente, discernir si las estrategias de conservación y protección hídrica implementadas por el FONAG en las ACH fueron eficaces.

**Planteamiento del problema**

Este proyecto tiene como objetivo principal analizar la calidad del agua de las ACH Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo para evidenciar la eficacia de las

estrategias de protección y conservación hídrica que ha implementado el FONAG. Sin embargo, al ser áreas de gran tamaño y constituidas por varios recursos hídricos se decidió realizar un muestreo no probabilístico, específicamente intencional, en el que se consideraron criterios técnicos para definir los ríos de estudio. Se consideró la accesibilidad, el tamaño, la variedad de hábitat, la disponibilidad de datos previos y el grado de interés para la investigación.

De cada río seleccionado como sitio de estudio se midieron *in situ* el pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales; mientras que, para medir demanda biológica de oxígeno ($DBO_5$), turbidez, fosfatos, fósforo total y nitrógeno total, se tomaron muestras de agua para su análisis en el laboratorio. En el caso de los macroinvertebrados fueron recolectados con red de patada, identificados en el laboratorio y registrados en el museo de zoología de la UTI.

Finalmente, los resultados de los monitoreos de esta investigación permitirán responder a la siguiente problemática: ¿Cómo han influido las estrategias de conservación y protección hídrica implementadas por el FONAG en la calidad de agua de los ríos localizados en sus Áreas de Conservación Hídrica?

# OBJETIVOS

## *Objetivo general*

- Analizar la calidad del agua de las Áreas de Conservación Hídrica Alto Pita, Antisana y Ponce Paluguillo administradas por el FONAG, evidenciando la eficacia de las estrategias de protección y conservación hídrica implementadas.

## Objetivos específicos

- Evaluar las características del hábitat fluvial y de vegetación de ribera de los sitios de estudio.
- Analizar la calidad y estado trófico del agua a través del empleo de indicadores fisicoquímicos y biológicos (macroinvertebrados) en los sitios de estudio.
- Determinar la eficacia de las estrategias de protección y conservación implementadas por el FONAG en las ACH Alto Pita y Antisana.

# CAPÍTULO I

# MARCO TEÓRICO

## ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La gestión del recurso hídrico en el Ecuador es una tarea primordial y permanente en todo el territorio que se ejecuta con la finalidad de racionalizar su conservación y mejorar su aprovechamiento. La SENAGUA es la autoridad nacional encargada de la administración del recurso hídrico. Sin embargo, existen otros organismos y entidades, tanto del sector público como privado que proporcionan información sobre el estado, situación y gestión del agua, la cual es fundamental para la planificación y evaluación de la política hídrica (CEPAL, 2012).

El FONAG es un Fideicomiso Mercantil Ambiental que se creó el 25 de enero del 2000 para proporcionar agua en calidad y cantidad a la población del Distrito Metropolitano de Quito; conjuntamente con la EPMAPS realizan programas de control, protección, conservación y manejo de las fuentes hídricas localizadas en las zonas de páramos altoandinos de la provincia de Pichincha, principal fuente de abastecimiento de agua para Quito (Coronel, 2019).

El FONAG creó el Programa Áreas de Conservación Hídrica Sostenible que desarrolla estrategias y acciones encaminadas a proteger y conservar zonas de interés hídrico para Quito; considerando los procesos ecológicos vitales que influyen en la protección del agua y de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad y garantizando la interrelación entre diferentes ámbitos, sectores y actores alcanzando un manejo integral del recurso hídrico (FONAG, 2018). Las ACH gestionadas directamente por el FONAG son tres: Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo.

Actualmente, se está realizando un estudio en la microcuenca del Cachiyacu en Papallacta auspiciada por el FONAG y a cargo de la Universidad San Francisco de Quito para demostrar los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Esta investigación concluye que el incremento de la temperatura en los ríos altera los procesos biológicos y la distribución de los macroinvertebrados acuáticos que actúan como bioindicadores de la calidad del agua y son cruciales en la cadena alimenticia (FONAG, 2018).

Hasta el momento, se han llevado a cabo diversas investigaciones que proporcionan información relevante sobre la calidad de agua en ecosistemas de páramos y que sirven de base para la ejecución del presente proyecto de titulación, siendo las más relevantes:

Roldán y Ramírez (2008) realizan un resumen a detalle de los diferentes estudios limnológicos que se llevan a cabo en países neotropicales y su aporte en Sudamérica, se concluye que estas investigaciones son recientes en el continente y más aún en la zona altoandina. A pesar del avance de los últimos años es fundamental seguir investigando para obtener mayor información que permita manejar de forma sostenible el agua.

Acosta et al. (2009) desarrollaron el Proyecto CERA que propone herramientas de evaluación ecológica de sistemas fluviales localizados sobre los 2000 msnm. Fue aplicado en 45 estaciones de muestreo en la cuenca del río Guayllabamba, donde se evaluaron las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, el hábitat fluvial y la comunidad vegetal de ribera mediante la aplicación de los índices ABI, IHF y QBR-and, respectivamente. El protocolo CERA ha sido utilizado como guía para otras investigaciones.

De la Paz (2012) realizó una investigación encaminada a evaluar la calidad de agua e integridad ecológica de ríos altoandinos y concluyó que las estrategias de conservación y protección del agua implementadas por el FONAG mejoraron la calidad de cuatro de los siete ríos con manejo en comparación a los que no eran manejados y recomienda realizar monitoreos continuos para analizar y comprender las tendencias temporales de estos ecosistemas.

Soria (2016) realizó un estudio para evaluar la calidad ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la captación de la EPMAPS y utilizó comunidades de macroinvertebrados como bioindicadores. Concluyó que el estado de la calidad ecológica es "regular" con baja diversidad de organismos bentónicos, por lo tanto, era necesario formular estrategias y acciones de protección y conservación inmediatamente.

Terneus y Yánez (2018) mencionan que el uso de bioindicadores acuáticos desempeñan un rol fundamental al determinar la calidad del agua y establecer un plan de manejo adecuado del recurso hídrico. Además, su investigación aporta un marco teórico de referencia para el empleo de parámetros biológicos que complementen el monitoreo de calidad de agua.

Los estudios mencionados anteriormente evidencian la importancia significativa del diagnóstico de la calidad ecológica de las ACH Antisana, Alto Pita y Paluguillo para conocer el estado de conservación a través del tiempo y la eficacia de las estrategias de protección implementadas por el FONAG. Los resultados que se obtengan de este proyecto servirán de base para futuras investigaciones en estas ACH e implementar nuevos métodos de monitoreo de calidad de agua complementarios.

## RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR

La distribución de los recursos hídricos en el Ecuador es irregular, porque hay zonas sumamente secas y otras muy ricas en agua que procede principalmente de lluvias, escurrimiento superficial de ríos y reservas subterráneas (Da Ros, 2010). A pesar de que Ecuador es uno de los países de América Latina que cuenta con mayor disponibilidad de agua, Isch (2009) menciona que existen problemas de escasez, debido a una distribución natural y regional del recurso hídrico desigual.

Para facilitar su administración se ha dividido al Ecuador en 9 demarcaciones que incluyen a su vez cuencas y microcuencas, dando un total de 740 unidades hidrográficas que proporcionan agua para los habitantes del país (Galárraga, 2010). Actualmente, en condiciones de régimen natural la disponibilidad de agua de la

vertiente del Pacífico es de 5300 $m^3$/hab/año, y la del Amazonas es de 91600 $m^3$/hab/año. En el caso del Pacífico, el valor no está alejado del umbral crítico de 2000 $m^3$/hab/año (Isch, 2009).

## ECOSISTEMAS FLUVIALES ALTOANDINOS

Los ecosistemas fluviales altoandinos se originan en los páramos que se encuentran sobre los 2500 msnm, cubren aproximadamente el 6% del territorio nacional (1.250.000 ha) (Mena y Hofstede, 2006). Se caracterizan por tener pluviosidad moderada a alta y bajas temperaturas, actúan como reguladores del ciclo hidrológico y son considerados reservorios de recursos hídricos que mantienen el agua en calidad y cantidad para uso potable, industrial, agrícola, entre otros (Llambí et al., 2012).

Los páramos son fundamentales en el aporte hídrico porque reciben el agua de los glaciares, de la lluvia y de la neblina, formando reservorios de evaporación hacia la atmósfera y de infiltración hacia las cuencas hídricas que abastecen de agua potable a las poblaciones (PNUD, 2008).

A pesar de la importancia ambiental, económica y social de los ríos altoandinos son poco estudiados tanto a nivel de calidad ecológica como de presiones producto de actividades humanas (Maldonado et al., 2011). Las principales causas que alteran sus características fisicoquímicas son la reducción del caudal y las alteraciones del régimen hidráulico o el aporte de aguas residuales al medio acuático (Ríos-Touma, 2008).

## CONTAMINACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

La contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas asociados a ellos son dos de los más grandes problemas que afectan al desarrollo sostenible del agua y son causados principalmente por el vertimiento de aguas residuales, la disposición final de residuos sólidos y agroquímicos que contaminan y alteran la calidad de los cuerpos de agua (CEPAL, 2012).

Durante los últimos años se evidenció una alta presión antrópica que ocasiona deterioro de los ecosistemas hídricos, tanto en calidad como en cantidad. Las limitaciones de disponibilidad de agua y el crecimiento demográfico ejercen alteraciones en las zonas altas de páramos donde se originan las fuentes de agua primarias, provocando su degradación y sobreexplotación.

La calidad del agua o el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos se ven cada vez más afectados por las demandas del uso de agua, que dan lugar a la construcción de infraestructuras que alteran la hidromorfología, por ejemplo: los embalses que captan el agua para consumo humano (Ocasio, 2008).

### *Contaminación por eutrofización*

La Directiva Marco del Agua (2013) define la eutrofización como el aumento de nutrientes en el agua, especialmente de nitrógeno y/o fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores que altera el equilibrio entre los organismos acuáticos y la calidad del agua.

Margalef et al. (1976) mencionan que la eutrofización es un proceso en el que se incorporan nutrientes y materia orgánica desde el exterior hacia los cuerpos de agua alterando las condiciones de equilibrio, la composición biótica y las características propias del sistema (propiedades físicas, químicas y biológicas que modifican la calidad del agua).

## CALIDAD DE AGUA

La Directiva Marco del Agua (2013) define la calidad del agua como aquellas condiciones que deben darse en un cuerpo hídrico para que éste mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla con determinados objetivos de calidad ecológica.

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica de los recursos hídricos y su relación los efectos humanos y la salud (FAO, 1993). Además, describe el medio hídrico desde el punto de vista de su caracterización ambiental como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica (CEPAL, 2012). El término de

calidad de agua es relativo y tiene importancia según el uso del recurso. Para las áreas de estudio, el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, establece los criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías que se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro Nº 1. Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías**

| Parámetros | Límite máximo permisible |
|---|---|
| Coliformes fecales (CF) | 200 NMP/100 ml |
| Potencial de hidrógeno (pH) | 6.5 – 9 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_5$) | 2 mg/l |
| Nitratos ($NO_3^{-1}$) | - |
| Fosfatos ($PO_4^{-3}$) | - |
| Temperatura | Condición natural +3 grados |
| Turbidez | 0 – 50 UTN |
| Sólidos totales disueltos (STD) | 1000 mg/l |
| Oxígeno disuelto (OD) | >80% del oxígeno de saturación y > 6 mg/l |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2015)

## INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUA

Un índice de calidad de agua es una expresión simple de una o más combinaciones de parámetros que sirven como medida de la calidad del agua. Se puede representar con un número, descripción verbal, rango, símbolo o color (Ramírez, Restrepo y Viña, 2005).

La ventaja de los indicadores de calidad de agua radica en que proporciona información que se puede interpretar fácilmente en comparación a los valores numéricos de cada parámetro medido. Al transformar información compleja en entendible permite que usuarios en general puedan conocer rápidamente sobre el grado de contaminación de un recurso hídrico (Alberti y Parker, 1991).

### *Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI)*

El índice de estado trófico (*Trophic State Index*, por sus siglas en inglés) se normaliza en una escala de seis rangos que van desde de 0 a 100. En el cuadro 2 se presenta el nivel trófico según el TSI.

**Cuadro Nº 2. Nivel trófico según el TSI**

| Nivel trófico | TSI | Color representativo |
|---|---|---|
| Oligotrófico | 0 – 30 | |
| Mesotrófico | 31 – 60 | |
| Eutrófico | 61 – 90 | |
| Hipereutrófico | >90 | |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Carlson (1977)

El TSI determina el estado trófico de los recursos hídricos y se obtiene a partir de la medición de fósforo total del agua. La fórmula para calcular el TSI ha sido modificada por Aizaki et al (1981) a la propuesta por Carlson (1977) y es:

$$\boldsymbol{TSI}\ (\boldsymbol{Fósforo\ Total}) = 10x\left(6 + \frac{0{,}42 - 0.36lnPT}{ln2}\right) - 20$$

Donde: **PT =** Concentración de fósforo total expresada en mg/l

### *Índice de Calidad del Agua (ICA)*

El índice de calidad del agua (ICA) es una herramienta que incorpora datos de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos en una ecuación matemática para identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado (Yogendra y Puttaiah, 2008).

Para conocer la calidad de agua y tener una descripción general y entendible del cuerpo de agua contaminado hay que calcular un índice que combine matemáticamente los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Sin embargo, existen más de 30 índices de uso común (Fernández y Solano, 2005)

Entre los ICA más difundidos y aplicados destaca el propuesto por Brown et al. (1970) que es una versión modificada del Water Quality Index (WQI) desarrollado por la National Sanitation Foundation (ICA-NSF). La metodología empleada para evaluar la calidad de agua según el ICA (Brown et al., 1970) consiste en tomar en cuenta el promedio aritmético ponderado de nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Cuadro 3).

**Cuadro Nº 3. Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF**

| Parámetros | Valores relativos |
|---|---|
| Coliformes fecales (CF) | 0.15 |
| Potencial de hidrógeno (pH) | 0.12 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_5$) | 0.10 |
| Nitratos ($NO_3^{-1}$) | 0.10 |
| Fosfatos ($PO_4^{-3}$) | 0.10 |
| Cambio de la Temperatura | 0.10 |
| Turbidez | 0.08 |
| Sólidos totales disueltos (STD) | 0.08 |
| Oxígeno disuelto (OD) | 0.17 |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** González et al. (2013)

La escala para interpretar el resultado final de la calidad de agua de acuerdo al ICA y a los criterios para consumo humano se presentan en el cuadro 4.

**Cuadro Nº 4. Calidad de agua asociada al valor del ICA y criterio para consumo humano (ICA-NSF)**

| Calidad del agua | Clasificación según Brown | Valor del ICA | Criterio para consumo humano |
|---|---|---|---|
| Excelente | Excelente | 91 – 100 | No requiere purificación |
| Aceptable | Buena | 81 – 90 | Requiere purificación menor |
| Leve | | 71 – 80 | Dudoso su consumo sin purificación |
| Contaminada | Regular | 51 – 70 | Tratamiento de potabilización considerable |
| Contaminada fuerte | Mala | 41 – 50 | Dudoso para consumo |
| Contaminada exceso | Pésima | 0 – 40 | Inaceptable para consumo |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Soto y Reina (2012)

## INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD DE AGUA

De acuerdo con Herbas, Rivero y González (2006) un indicador biológico es todo organismos que indica las condiciones del medio en el que se desarrolla, ya que de cualquier manera su existencia en un lugar y tiempo determinado responde a la capacidad que tienen para adaptarse a los diferentes factores ambientales. Su presencia, ausencia, número, morfología o conducta indican los límites de tolerancia a las variables físicas y químicas del agua (Dougthy, 1994).

El biomonitoreo es un método complementario que permite determinar el estado ecológico de los ríos y el grado de degradación del hábitat en el tiempo. Además, ayuda a evidenciar perturbaciones que inducen a modificaciones del sustrato y de la calidad del agua (Prat y Rieradevall, 1998).

Los bioindicadores más empleados y aceptados como herramienta para evaluar la calidad de agua son los macroinvertebrados porque responden a las alteraciones ocasionadas por las actividades humanas en los ecosistemas fluviales, son sensibles a la contaminación orgánica y a la degradación del hábitat. (Merrit y Cummins, 1996; Muñoz et. al., 2001 y Silveira et al., 2004).

Roldán (2016) define a los macroinvertebrados acuáticos como aquellos organismos que habitan en el fondo de ríos y lagos, se encuentran adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas y su tamaño oscila entre 0.5 mm y 5 mm. Según Oscoz (2009) pueden ser retenidos por mallas de luz de 200 y 500 µm, y son lo suficientemente grandes para ser vistos sin necesidad de emplear equipos de aumento.

Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos son importantes para valorar la integridad del estado ecológico del agua ya que cumplen con criterios deseados al momento de evaluar la calidad de este recurso, como sensibilidad, validez científica, factibilidad de muestreo, reducción de costos, entre otros (González y Lozano, 2004). En el Cuadro 5 se mencionan las ventajas y desventajas de su uso:

**Cuadro Nº 5. Ventajas y desventajas del empleo de macroinvertebrados como bioindicadores**

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Es un parámetro directo de la calidad del agua que indica las condiciones ecológicas de un sitio determinado. | No son sensibles a ciertas perturbaciones como la presencia de patógenos de origen humano (coliformes o parásitos). |
| Tiene una amplia distribución geográfica y en diferentes ambientes. | La taxonomía de algunos grupos no es bien conocida. |
| Son sensibles a los impactos no puntuales o de factores difusos. Determinan los efectos de las perturbaciones en el tiempo. | La interpretación de los resultados y sus comparaciones en el tiempo se pueden ver afectadas por variaciones dinámicas. |
| Tienen efecto bioacumulativo (acumulan los efectos causados por diversos factores en el tiempo) debido a sus ciclos de vida largos. | El trabajo de preparación e identificación de las muestras comporta un tiempo bastante significativo. |
| Las técnicas de recolección son fáciles, baratas y requieren pocos materiales. | |
| No se necesita precisión a nivel genérico o específico con la determinación hasta familia es suficiente. | |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Roldan (1999)

### *Índices bióticos para macroinvertebrados*

Los índices bióticos permiten detectar el estado ecológico de un ecosistema afectado por un proceso de contaminación. Para el caso de los macroinvertebrados se les asigna un número en función de su tolerancia hacia determinado contaminante. Aquellos que son más tolerantes a la contaminación tendrán un valor numérico menor, mientras que, los más sensibles recibirán un mayor puntaje. La suma de estos valores indicará la calidad del agua (Roldán, 1999).

## Índice EPT (*Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera*)

Representa la riqueza de taxa pertenecientes a los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*. Se caracterizan por ser sensibles a las perturbaciones humanas, sobre todo a la contaminación orgánica y son útiles para evaluar las alteraciones del hábitat (Leiva, 2004). El cuadro 6 indica la calidad del agua según el valor del índice EPT y la imagen 1 muestra las características de las especies pertenecientes a estos tres grupos.

**Cuadro Nº 6. Calidad de agua según el Índice EPT**

| CLASE | Calidad del agua | Índice EPT (%) |
|---|---|---|
| **1** | Muy buena | 75 – 100 |
| **2** | Buena | 50 – 74 |
| **3** | Regular | 25 – 49 |
| **4** | Mala | 0 – 24 |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Domínguez y Fernández (2001)

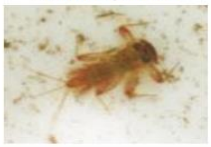
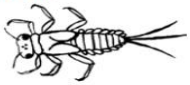
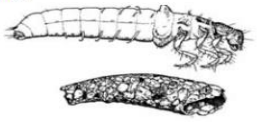
| Orden de insecto | Características | Rasgos clave |
|---|---|---|
| PLECOPTERA | • Nombre común: Moscas de las piedras (Familia más común: Perlidae)<br>• Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas acuáticas y adultos voladores)<br>• Fase indicadora: Ninfas. Muy sensibles a la contaminación.<br>• Alimentación: Ninfas Carnívoras en los últimos instares<br>• Hábitat: Ríos de aguas turbulentas, Lechos de grava. | Abdomen con un par de cercos sencillos o multiarticulados. Uñas tarsales pares. |
| EFEMEROPTERA  | • Nombre común: Efímeras (Familias más comunes: Baetidae, Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Caenidae)<br>• Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas acuáticas y adultos voladores)<br>• Fase indicadora: ninfas<br>• Alimentación: ninfas herbívoras<br>• Hábitat: ríos y lagunas | Abdomen generalmente con un par de cercos alargados y un filamento central normalmente visible. Uñas tarsales únicas.  |
| TRICOPTERA | • Nombre común: Frigáneas (Familias más comunes: Hidropsiphidae, Hidroptilidae, Leptoceridae)<br>• Ciclo de vida: hemimetabolos (ninfas y pupas acuáticas y adultos voladores)<br>• Fase indicadora: ninfas<br>• Alimentación: ninfas depredadoras o herbívoras<br>• Hábitat: ríos, aguas quietas y rápidas. | Larvas acuáticas construyen un estuche o refugio que varia según la familia.  |

**Imagen Nº 1 Características de los macroinvertebrados pertenecientes al orden *Ephemeroptera, Plecoptera* y *Trichoptera***
**Fuente:** Domínguez y Fernández (2001)

## Índice ABI (Andean Biotic Index)

El ABI está basado en el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) aplicado para las estribaciones de los Andes sobre los 2000 msnm, donde se

encuentran menos familias de macroinvertebrados que en otras partes del mundo porque la altura restringe su distribución (Ríos-Touma et al., 2014). Jacobsen y Encalada (1998) considera que la gradiente altitudinal influye en la presencia de ciertos macroinvertebrados y en la resistencia a los diferentes contaminantes. El ABI evalúa la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados, la puntuación máxima es > 96 y la mínima < 14 (Cuadro 7).

**Cuadro Nº 7. Calidad de agua según el Índice ABI**

| CLASE | Calidad del agua | Índice ABI |
|---|---|---|
| **1** | Muy buena | >96 |
| **2** | Buena | 59 – 96 |
| **3** | Regular | 36 – 58 |
| **4** | Mala | 14 – 34 |
| **5** | Pésimo | <14 |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Acosta et al. (2009)

## Índice ASPT-Ecuador

El índice ASPT (Average Score Per Taxon) fue creado en Gran Bretaña y modificado para ser aplicado en varios países del mundo. Su ventaja es que funciona a nivel de familia, de tal manera que no representa un problema en aquellas regiones donde la identificación de macroinvertebrados a nivel de género o especie es prácticamente imposible (Espinosa et al, 2010).

La asignación de puntajes se basa en la supuesta tolerancia de cada familia hacia la contaminación orgánica. Espinosa et al (2010) realizaron el cálculo del ASPT-Ecuador, considerando a todas las familias de macroinvertebrados que se puedan encontrar en los ríos de páramo y que ya existen puntuaciones asignadas, así como también se aumentaron otras que forman parte del Family Biotic Index de EEUU. No se consideraron las familias del Neotrópico, porque este índice tiene aplicabilidad para ríos ubicados en páramos sobre los 3500 msnm.

El índice ASPT-Ecuador se calcula como BMWP/n, donde n es el número de familias encontradas y BMWP es la suma de las puntuaciones asignadas para cada

familia identificada en la Imagen 2. Este índice se aplicó 75 ríos de páramos y se obtuvo como valor de referencia o de estado natural esperado 6.6.

Por su parte, el cociente de calidad ecológica (CE) del índice ASPT-Ecuador se basa en la desviación entre el índice observado y el esperado. Para calcular el cociente de CE se debe dividir el valor del ASPT-Ecuador calculado sobre el valor referencial 6.6. Los rangos de calidad de agua se muestran en el cuadro 8.

**Cuadro Nº 8. Calidad de agua según Cociente de CE del ASPT-Ecuador**

| CLASE | Calidad del agua | CE ASPT-Ec |
|---|---|---|
| **1** | Alta | >0.90 |
| **2** | Buena | 0.75 – 0.90 |
| **3** | Mediana | 0.60 – 0.74 |
| **4** | Pobre | 0.45 – 0.59 |
| **5** | Mala | <0.45 |

**Elaborado por:** La autora (2019). **Fuente:** Espinosa et al. (2010)

**Puntuaciones de las diferentes familias utilizadas para los índices BMWP-Ecuador y ASPT-Ecuador aplicados a ríos de páramo (> 3500 msnm)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Turbellaria** | | **Coleoptera** | |
| Planariidae | 5 | Curculionidae | 5 |
| | | Dryopidae | 5 |
| **Oligochaeta** | | Dytiscidae | 5 |
| Tubificidae | 1 | Elmidae | 5 |
| | | Hydrophilidae | 5 |
| **Hirudinea** | | Scirtidae | 5 |
| Glossiphoniidae | 3 | | |
| | | **Lepidoptera** | |
| **Amphipoda** | | Pyralidae | 5 |
| Hyallelidae | 5 | | |
| | | **Trichoptera** | |
| **Hydracarina** | 6 | Calamoceratidae | 7 |
| | | Helicopsychidae | 7 |
| **Mollusca** | | Hydrobiosidae | 7 |
| Hydrobiidae | 3 | Hydropsychidae | 5 |
| Lymnaeidae | 3 | Hydroptilidae | 6 |
| Physidae | 3 | Glossosomatidae | 8 |
| Planorbidae | 3 | Leptoceridae | 10 |
| Sphaeriidae | 3 | Limnephilidae | 7 |
| Unionidae | 6 | Odontoceridae | 10 |
| | | | |
| **Plecoptera** | | **Diptera** | |
| Gripopterygidae | 9 | Blephariceridae | 10 |
| Perlidae | 10 | Ceratopogonidae | 4 |
| | | Chironomidae (rojos) | 2 |
| **Ephemeroptera** | | Dolichopodidae | 6 |
| Baetidae | 4 | Empididae | 4 |
| Leptophlebiidae | 10 | Ephydridae | 4 |
| Trichorythidae | 6 | Limoniidae | 4 |
| | | Muscidae | 4 |
| **Hemiptera** | | Simuliidae | 5 |
| Mesoveliidae | 5 | Tabanidae | 4 |
| Corixidae | 5 | Tipulidae | 5 |

**Imagen Nº 2 Puntuaciones de las familias utilizadas para los índices BMWP-Ecuador y ASPT-Ecuador aplicados a ríos de páramos mayores a 3500 msnm**
**Fuente:** Espinosa et al (2010)

***Indicadores de calidad de hábitat de ríos***

Ha incrementado el interés por evaluar de forma rápida y efectiva un recurso hídrico, pero sin perder la capacidad de incorporar información sobre el estado de salud del sistema acuático. Los índices más utilizados son el índice de calidad de ribera andina (QBR-And) y el índice de hábitat fluvial (IHF) porque proporcionan resultados confiables de la calidad de ribera del río y del cauce respectivamente (Palma et al., 2009).

**Índice de calidad de ribera andina (QBR-And)**

Las zonas de ribera que presentan abundante vegetación tienen gran importancia ecológica porque actúan como corredores de interacción entre animales terrestres y acuáticos, crean un ambiente propicio para el desarrollo de flora bacteriana y hongos que facilitan la degradación del material orgánico y actúan como zonas que proporcionan mayor sombra en las cabeceras de los ríos que mantiene la temperatura en verano dentro de los rangos tolerables para las especies de aguas frías (Abel y Allan, 2002; Cummins, 2002; Faush et al., 2002).

El índice QBR-And es adaptado específica para evaluar la vegetación de los Andes donde se excluye la estructura de la cubierta y toma en cuenta las especies vegetales que son propias de los páramos (almohadillas, gramíneas y matorral) (Acosta et al., 2009). Para su valoración se consideran cuatro componentes: grado de naturalidad del canal fluvial, calidad de la cubierta vegetal, grado de cubierta de la zona de ribera y estructura de la ribera.

Los rangos de calidad de la vegetación de ribera según el QBR-And se muestran en el cuadro 9.

**Cuadro Nº 9. Calidad de la vegetación de ribera según el índice QBR-And**

| Nivel de calidad | QBR-And | Color representativo |
|---|---|---|
| Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural. | >95 | |
| Bosque ligeramente perturbado, calidad buena. | 75 – 90 | |
| Inicio de alteración importante, calidad intermedia. | 55 – 70 | |
| Alteración fuerte, calidad mala | 30 – 50 | |
| Degradación extrema, calidad pésima. | <25 | |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Acosta et al. (2009)

## Índice de hábitat fluvial (IHF)

El índice de hábitat fluvial evalúa la variedad del medio fluvial considerando siete componentes: inclusión del sustrato, frecuencia de rápidos, regímenes de velocidad/profundidad, porcentaje de sombra del cauce, elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática.

Los rangos de calidad del sistema fluvial acorde al índice IHF se presentan en cuadro 10.

**Cuadro Nº 10. Calidad del sistema fluvial según el índice IHF**

| Nivel de calidad | IHF | Color representativo |
|---|---|---|
| Muy alta diversidad de hábitats | >90 | |
| Alta diversidad de hábitats | 71 – 90 | |
| Diversidad de hábitats media | 50 – 70 | |
| Baja diversidad de hábitats | 31 – 49 | |
| Muy baja diversidad de hábitats | <30 | |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Acosta et al. (2009)

# CAPÍTULO II

# DISEÑO METODOLÓGICO

## ENFOQUE

El enfoque utilizado en el presente proyecto de titulación es cuantitativo porque se recolectaron y analizaron los datos fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos obtenidos en el proceso de monitoreo para su posterior análisis estadístico. Los resultados del análisis estadístico permitirán concluir si las estrategias de conservación y protección hídrica implementadas por el FONAG son efectivas sobre la calidad del agua.

## MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene las siguientes modalidades:

**De campo:** los datos fueron recolectados directamente de las fuentes originales, es decir, de los ríos seleccionados como sitios de estudio.

**Bibliográfica-documental:** se empleó información documentada por el FONAG en los años previos al desarrollo de esta investigación. Los datos proporcionados corresponden a monitoreos realizados en el 2014 y el 2016. La recopilación bibliográfica permitió afinar la metodología a emplear en el monitoreo y análisis de muestras.

## NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación del presente proyecto de titulación son:

**Explicativo:** explica la influencia de las estrategias de conservación y protección hídrica sobre la calidad de agua en los ríos de estudio.

**Asociación de variables:** determina la relación existente entre las variables dependientes e independientes de la investigación.

## POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está constituida por las tres ACH del FONAG que son: Antisana, Alto Pita y Paluguillo. La selección de los sitios de estudio en cada ACH se realizó en función de un muestreo no probabilístico intencional que consideró criterios técnicos como: accesibilidad, tamaño, disponibilidad de datos previos y grado de interés para la investigación. En el cuadro 11 se indica los ríos seleccionados como sitios de estudio.

**Cuadro Nº 11. Población y sitio de estudio**

| POBLACIÓN | SITIO DE ESTUDIO |
|---|---|
| **ACH Antisana** | • Río Pullurima<br>• Vertedero 2 Jatunhuayco<br>• Río Micahuayco<br>• Río Alambrado Parte Baja |
| **ACH Alto Pita** | • Río Pita<br>• Río Chan<br>• Río Chamilco<br>• Río Mudadero |
| **ACH Ponce Paluguillo** | • Río Carihuayco<br>• Río Pucahuayco |

**Elaborado por:** La autora (2019)

## OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de la variable independiente se detalla en el cuadro 12; mientras que, para la variable dependiente se presenta en el cuadro 13:

**Cuadro Nº 12. Operacionalización de la variable independiente**

**Variable dependiente:** Estrategias de protección y conservación hídrica implementadas por el FONAG en sus ACH

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Técnicas e Instrumentos |
|---|---|---|---|---|
| Las estrategias de conservación y protección hídrica buscan asegurar la calidad del agua, garantizando su uso y aprovechamiento presente y futuro. Además, de asegurar el mantenimiento de la vida acuática y los ecosistemas de interés hídrico. | Calidad del agua | Influencia en la calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos).<br><br>Influencia en la biodiversidad de macroinvertebrados. | ¿Cómo influye la implementación de estrategias de conservación hídrica en la calidad del agua? | **Experimentación:** Ficha de campo.<br><br>Análisis de laboratorio. Análisis estadístico para evaluar la variación de los parámetros en el tiempo y entre sitios control y manejados por el FONAG. |
| | Estado ecológico del ecosistema | **Integridad ecológica:** hábitat fluvial y vegetación ribereña con cálculo de los índices IHF y QBR-And | ¿Cómo influye la implementación de estrategias de conservación hídrica en el estado ecológico de los ecosistemas evaluados? | **Observación directa:** Ficha de campo (check list) para caracterizar el sitio de estudio.<br><br>Análisis temporal de la variación de los índices IHF y QBR-And |

**Elaborado por:** La autora (2019)

**Cuadro Nº 13. Operacionalización de la variable dependiente**

**Variable dependiente:** Calidad de agua de los ríos de estudio.

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Técnicas e Instrumentos |
|---|---|---|---|---|
| Se pretende conocer la variación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos a lo largo del tiempo, estableciendo los niveles de contaminación y calidad de agua de los ríos de estudio. | Monitoreo | **Parámetros físicos:** turbidez, sólidos totales disueltos, temperatura, conductividad eléctrica.<br><br>**Parámetros químicos:** pH, OD, $DBO_5$, nitratos, fosfatos, fósforo total.<br><br>**Parámetro microbiológico:** coliformes fecales.<br><br>**Parámetro biológico:** macroinvertebrados. | ¿Existen datos previos sobre los parámetros fisicoquímicos y biológicos de los ríos evaluados?<br><br>¿Qué metodología se emplea para la toma de muestras? | **Experimentación:** Toma de muestras<br><br>Análisis de laboratorio<br><br>Identificación de macroinvertebrados a nivel de familia. |
| | Caracterización | Índice de calidad de Agua (ICA)<br><br>Índice de estado trófico (TSE)<br><br>Índice de macroinvertebrados (EPT y ASPT-Ecuador). | ¿Previamente se ha calculado estos índices en los ríos evaluados? | **Experimentación:** Hojas de toma de datos. Análisis estadístico de los resultados.<br><br>Cálculo de los índices definidos. |

**Elaborado por:** La autora (2019)

## PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El procedimiento de recolección de información consiste en responder preguntas básicas que permitan comprender de manera clara y resumida la información general del proyecto (Cuadro 14).

**Cuadro Nº 14. Preguntas básicas para la recolección de información**

| PREGUNTAS BÁSICAS | EXPLICACIÓN |
|---|---|
| ¿Para qué realizar la presente investigación? | Analizar la calidad del agua de los ríos de las ACH para la evaluación de la eficacia de las estrategias de protección y conservación hídrica del FONAG. |
| ¿De qué objetos? | Ríos seleccionados como sitios de estudio, localizados en las ACH Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo. |
| ¿Sobre qué aspectos? | Indicadores de calidad ambiental (ICA), estado trófico (TSE), macroinvertebrados (EPT, ASPT-Ecuador) y estado ecológico de los ecosistemas (HF y QBR-And). |
| ¿Quién? | Michelle Parra P. |
| ¿Cuándo? | Época lluviosa (ACH Antisana y Ponce Paluguillo); Época seca (ACH Alto Pita) |
| ¿Dónde? | ACH Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo. |
| ¿Cuántas veces? | Un monitoreo en casa sitio de estudio |
| ¿Qué técnicas de recolección? | Monitoreo in situ y de laboratorio. |
| ¿Con qué? | Equipos de monitoreo de campo e instrumental de laboratorio. |

**Elaborado por:** La autora (2019)

## PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### *Recopilación de la información*

Se revisó la información proporcionada por el FONAG para seleccionar los sitios de estudio, definir los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se evaluaron y determinar las metodologías que se emplearon en el monitoreo.

### *Selección de sitios de estudio y puntos de muestreo*

Los sitios de estudio seleccionados forman parte de las ACH administradas por el FONAG. Fueron definidos de manera conjunta con los técnicos del FONAG y se

consideraron criterios de accesibilidad, disponibilidad de datos previos, tamaño, variedad de hábitats y grado de interés para la investigación. El trabajo que sirvió de base para la selección de los sitios de estudio de este proyecto fue el de Encalada et al. (2017) que proporcionó los datos de años preliminares para su análisis y comparación temporal (2014 – 2019).

En el cuadro 15 se presentan las conclusiones de los resultados de cada sitio de estudio de la investigación de Encalada et al. (2017) y la razón por la que se decidió incluirlos o no como parte de este proyecto.

**Cuadro Nº 15. Criterios técnicos para la selección de sitios de estudio según las conclusiones de Encalada et al. (2017)**

| ACH Antisana | | |
|---|---|---|
| **Ríos** | **Conclusiones del estudio de Encalada et al. (2017)** | **Decisión** |
| Jatunhuayco Jatunhuayco Vertedero 1 | La cercanía de los puntos de muestreo del río Jatunhuayco y el Vertedero 1 refleja resultados bastante parecidos. Además, en el Vertedero 1 está localizado un punto de control de calidad de agua que es permanentemente monitoreado por el FONAG. | No son considerados como sitios de estudio porque los técnicos del FONAG ya realizan monitoreos de calidad de agua en estos puntos. Por razones técnicas y económicas se descartan de esta investigación. |
| Jatunhuayco Vertedero 2 | Los resultados de fosfatos y porcentaje de entrada de luz indican una tendencia a la eutrofización. Se evidenciaron signos de alteración por sobrepastoreo. | Desde el 2017 forma parte del ACH Antisana y se implementan programas de restauración intensivas. Este sitio es de interés porque se puede evaluar los cambios sobre la calidad de agua desde su ingreso al ACH. |
| Jatunhuayco Vertedero 3 | No se observaron signos de impacto del ganado por la fuerte pendiente de las laderas del vertedero. La calidad del agua del vertedero 3 es mejor que en los otros vertederos. | En el Vertedero 3 no se llevaron a cabo programas de restauración intensiva por lo tanto, no se consideró como sitio de estudio. |
| Pullurima | Presenta altas concentraciones de fosfatos, coliformes totales y fecales. Existe la presencia de ganado que genera un fuerte impacto sobre la zona de recarga del río. | El sitio es de interés porque se puede evaluar el impacto ocasionado por la ganadería sobre la calidad del agua. Además, es el par del |

| | | |
|---|---|---|
| | | Vertedero 1 por la similitud de sus características. |
| Micahuayco | Los resultados indican posible tendencia a la eutrofización por concentraciones altas de fosfatos y bajo porcentaje de entrada de luz. Se recomienda realizar una evaluación de estos parámetros de forma periódica. | Es de gran interés para el estudio porque permite evaluar si las estrategias de conservación han ayudado a disminuir la tendencia a eutrofización reportada en años anteriores. |
| Alambrado Parte Baja<br>Alambrado Parte Alta | Los resultados no muestran diferencias significativas en la mayoría de parámetros evaluados entre los dos ríos por su cercanía. | Para optimizar recursos se selecciona como sitio de estudio el Alambrado Parte Baja porque era el par del Micahuayco por su similitud para ser comparados. |
| **ACH Alto Pita** | | |
| **Ríos** | **Observaciones del estudio de Encalada et al. (2017)** | **Conclusión** |
| Mudadero | Concluye que existirá una tendencia de incremento de la cobertura de vegetación arbustiva que contribuiría a la mejora de la calidad ecológica del agua. | Este río fue seleccionado como sitio de estudio porque sería interesante poder evidenciar si esta tendencia es o no cierta y si influye sobre la calidad del agua. |
| Pita<br>Chamilco<br>Chan | Estos ríos se encontraban fuera del área de manejo del FONAG hasta el 2016. En el 2017 formó parte de la ACH Alto Pita y se implementaron estrategias de protección y conservación intensivas. | Estos ríos son de interés para el estudio porque se puede comprobar si existe algún cambio significativo en la calidad del agua desde que formó parte del área de manejo del FONAG. |
| Maucatambo | Las condiciones particulares de este río (sustrato limoso y arenoso) influyen en la diversidad de macroinvertebrados, esto alteró los resultados finales del ABI y se tuvo que descartar estos datos. | Por las características del río y los antecedentes reportados en los resultados del ABI no se considera oportuno incluirlo como sitio de estudio para el proyecto. |
| Gualpaloma | Los datos de parámetros químicos están incompletos. | No se considera este río en el estudio por la falta de datos. |

**Nota.** En color azul están identificados los ríos manejados por el FONAG; en color verde, los sitios control y en color negro, los ríos que no fueron considerados para este estudio.
**Elaborado por:** La autora (2019).

En el cuadro 16 y la imagen 3 se presentan los puntos de muestreo seleccionados para cada ACH. En el Anexo 1 se pueden observar los mapas de cada ACH por separado.

**Cuadro Nº 16. Puntos de muestro para el ACH Alto Pita**

| No. | Tipo de manejo | Sitio de estudio | Código | Latitud | Longitud | Altura msnm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ACH Antisana** | | | | | | |
| **1** | FONAG | Jatunhuayco Vertedero 2 | An_F1 | 807297 | 9945937 | 4095 |
| **2** | | Micahuayco | An_F2 | 811027 | 9941982 | 3998 |
| **3** | Control | Pullurima | An_C1 | 803634 | 9945183 | 3967 |
| **4** | | Alambrado Parte Baja | An_C2 | 813291 | 9940496 | 4032 |
| **ACH Alto Pita** | | | | | | |
| **1** | FONAG | Pita | AP_CA1 | 790820 | 9931834 | 3861 |
| **2** | | Chamilco | AP_CA2 | 790708 | 9932632 | 3878 |
| **3** | | Chan | AP_CA3 | 789718 | 9933297 | 3810 |
| **4** | | Mudadero | AP_Mu1 | 793079 | 9930780 | 3891 |
| **ACH Ponce Paluguillo** | | | | | | |
| **1** | FONAG | Carihuayco | PP_F1 | 809448 | 9961919 | 3120 |
| **2** | | Pucahuayco | PP_F2 | 804530 | 9963544 | 3610 |

**Elaborado por:** La autora (2019)

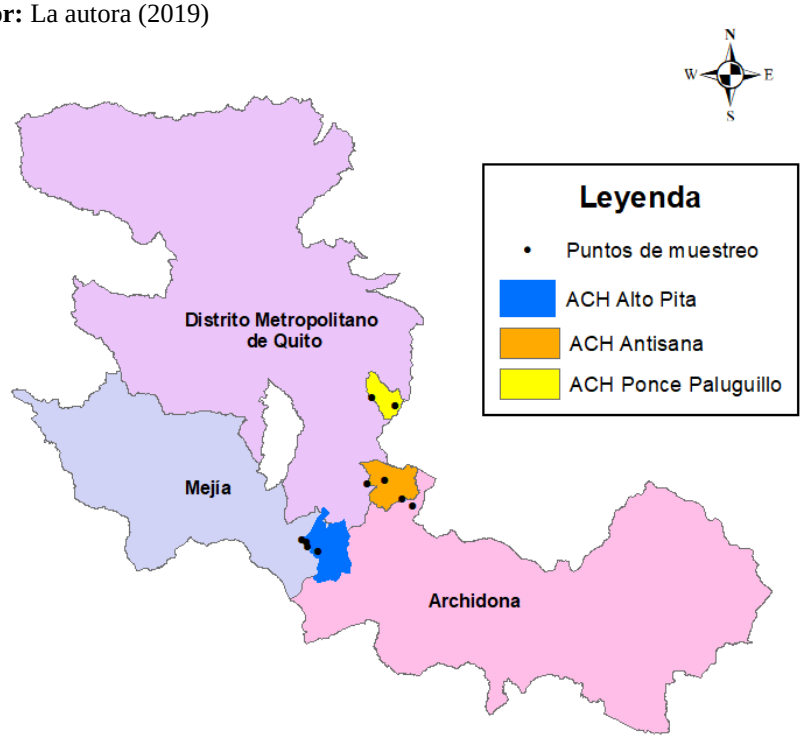



**Imagen Nº3 Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo en las ACH Antisana, Alto Pita y Ponce Paluguillo**

**Elaborado por:** La Autora (2019)

***Descripción de los sitios de estudio***

En el cuadro 17 se presentan los antecedentes, la descripción y las estrategias implementadas en cada sitio de estudio.

**Cuadro Nº 17. Antecedentes y descripción de los sitios de estudio**

| Sitio de estudio | Antecedentes y estrategias | Descripción del sitio de estudio |
|---|---|---|
| Pullurima (Control) | Se encuentra rodeado de un humedal y actualmente experimenta una importante presión de ganado que genera fuerte erosión en la zona de recarga del río e impacto sobre la calidad del agua.<br>Está ubicado fuera del ACH Antisana. | El substrato del río presenta piedras, gravas, cantos y arena medianamente fijados por sedimentos y con una inclusión mayor al 60%. El ancho varía entre 1 y 2 m con ocurrencia ocasional de rápidos someros totalmente expuestos. Presencia de ciertos elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática. Escasa vegetación arbustiva de ribera, caracterizada por la presencia de ganado en la zona de recarga del río. |
| Jatunhuayco Vertedero 2 (FONAG) | Sufrió impacto del ganado hasta el 2017, cuando formó parte del ACH Antisana y se implementaron estrategias de restauración intensivas. Se removió el ganado y se construyeron cercas para evitar el paso del ganado de las haciendas aledañas. Se controlaron las quemas de pajonal. Se instalaron gaviones en zonas riparias y se sembró semillas de *Lupinus.* Se implementó un sistema aleatorio tipo célula sobre las zonas praderizadas para enriquecimiento vegetal con *Calamagrostis* y disminución del porcentaje de suelo descubierto. Se redujo la presión turística. | El substrato del río está conformado principalmente por arena y grava mediamente fijados por sedimentos finos, con una inclusión entre el 30% y 60%. El ancho es de 1 m aproximadamente, donde predominan las pozas profundas y agua corriente profunda totalmente expuestos (sin sombra en el cauce). Hay presencia de elementos de heterogeneidad en el canal fluvial y de una cobertura de vegetación acuática significativa compuesta por plocon, briófitos, pecton y fanerógamas. En cuanto a la vegetación arbustiva de ribera es moderada con un porcentaje de suelo descubierto inferior al 5%. |
| Alambrado Parte Baja (Control) | Forma parte de la Reserva Ecológica Antisana. Sin embargo, hasta el 2014 se evidenció la presencia de ganado en la zona de recarga de la parte alta del río Alambrado.<br>Al estar ubicado fuera del ACH Antisana administrada por el FONAG es considerado como sitio control. | Se caracteriza por la presencia de arena, rocas, grava y cantos no fijado por sedimentos finos, con una inclusión entre el 0 y el 30%. El ancho del río mide aproximadamente 1.3 m, con ocurrencia ocasional de rápidos, agua corriente somera y con grandes claros. Hay presencia de elementos de heterogeneidad en el canal fluvial y cobertura de vegetación de ribera caracterizada por la presencia heterogénea de pajonales. |
| Micahuayco (FONAG) | Antes del 2012 formaba parte de las haciendas ganaderas Antisana y Contadero. La cobertura vegetal sufrió fuertes alteraciones por el sobrepastoreo. En el 2012 al adquirir los predios que constituyen el ACH se implementaron estrategias de recuperación y restauración de la vegetación de ribera. Se removió y se construyeron cercas para evitar el paso del ganado. Se realizó marcaje y captura de perros ferales. | El substrato del río presenta una composición variada de arena, rocas, grava y cantos poco fijados por sedimentos finos, con una inclusión entre 30 y 60%. El ancho promedio del río mide aproximadamente 2.4 m, predominando los rápidos someros y en algunos sitios existen pozas someras y profundas, totalmente expuestas. Existe presencia de elementos de heterogeneidad en el lecho del río y cobertura de vegetación acuática significativa. La vegetación de ribera es mediana con la presencia de parches de pajonales. |

| Sitio de estudio | Antecedentes y estrategias | Descripción del sitio de estudio |
|---|---|---|
| Chan (FONAG - Campo Alegre) | Se integró al ACH Alto Pita en el 2017, en el diagnóstico inicial se observó la degradación del suelo y de la cobertura vegetal por las actividades de pastoreo. Se redujo al 100% la carga animal de alpacas y se realiza constantemente control de la presión del ganado vacuno. Se socializó con los propietarios de las haciendas aledañas sobre la vulnerabilidad de estas zonas a quemas de pajonal. | Presencia predominante de arena y en ciertas secciones hay grava y piedras fijadas por sedimentos finos, con una inclusión mayor al 60%. El ancho del río mide aproximadamente 1.5 m, con ocurrencia ocasional de rápidos y presencia de grandes claros. Hay elementos de heterogeneidad en el canal fluvial y cobertura de vegetación acuática significativa. En cuanto a vegetación de ribera, existe abundante presencia de especies del género *Gynoxis.* |
| Chamilco (FONAG – Campo Alegre) | Se integró al ACH Alto Pita en el 2017, en el diagnóstico inicial se observó la degradación del suelo y de la cobertura vegetal por las actividades de pastoreo. En 2017 se evacuó las alpacas que estaban presentes en el predio Campo Alegre. | El substrato del río presenta una composición variada de arena, rocas, grava y cantos poco fijados por sedimentos finos, con una inclusión entre 30 y 60%. El ancho promedio mide aproximadamente 2.1 m, con alta frecuencia de rápidos y presencia de abundante vegetación arbustiva que proporciona sombra al cauce. Existe presencia de elementos de heterogeneidad en el lecho del río y cobertura de vegetación acuática significativa. La vegetación de ribera es alta y variada, sin alteraciones principalmente por la empinada pendiente de las orillas que la ha protegido. |
| Pita (FONAG - Campo Alegre) | Formó parte del ACH Alto Pita en el 2017. En el 2017 se redujo al 100% la carga animal de alpacas y se realizó el programa de enriquecimiento de la zona de ribera con *Polylepis incana, Gynoxys acostae, Buddleja incana, Hypericum laricifolium, Vaccinium floribundum, Baccharis buxifolia* y *Valeriana microphylla.* Se implementaron cortinas rompevientos con especies nativas. | Presencia de piedras, gravas, cantos, arena y bloques poco fijados por sedimentos con una inclusión entre 30 y 60%, predominan bloques de piedra grande. El ancho del río varía entre 5 y 10 m con alta frecuencia de rápidos. Existen parches de vegetación arbustiva principalmente de *Polylepis* sp., mientras que, en otras secciones la vegetación es muy baja presentando grandes claros. Hay presencia de elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática significativa. |
| Mudadero (FONAG - Mudadero) | Forma parte del ACH Alto Pita desde el 2014. El pastoreo intensivo ocasionó la degradación del suelo y la presencia de parches desnudos. Para restaurar el área se implementó el proyecto de reproducción vegetativa con especies para la recuperación integral del paisaje y del ecosistema. | Presencia variada de piedras, cantos y grava mediamente fijados por sedimentos finos, con una inclusión mayor al 60%. El ancho del río varía de 4 a 8 m, y predominan los rápidos profundos y rápidos someros totalmente expuestos (sin sombra en el cauce). Existen elementos de heterogeneidad en el canal fluvial, tales como troncos, ramas y raíces expuestas. La cobertura de vegetación acuática es significativa y está compuesta por plocon, briófitos, pecton y fanerógamas. En cuanto a la vegetación arbustiva de ribera es escasa, lo cual refleja el impacto del sobrepastoreo de años anteriores. |

**Elaborado por:** La autora (2019)

El ACH Antisana está compuesta por los predios Antisana, Contadero adquiridos por la EPMAPS en el 2011 y el Jatunhuayco comprada por el FONAG en el 2017. Esta zona formaba parte de una hacienda ganadera que tenía por lo menos 17000 ovejas y 5000 cabezas de ganado vacuno y equino, estas actividades impactaban directamente en los recursos hídricos que aportaban al sistema La Mica Quito Sur. En la imagen 4 se muestran los sitios de estudio seleccionados.

**FONAG**

**Jatunhuayco Vertedero 2**
Manejo intensivo desde el 2017

**Río Micahuayco**
Ingresó al ACH en el 2012

**CONTROL**

**Río Pullurima**
Sitio control

**Río Alambrado Parte Baja**
Sitio control

**Imagen Nº4 Sitios de estudio del ACH Antisana**
**Elaborado por:** La autora (2019)

El ACH Alto Pita está conformada por los predios Mudadero y Campo Alegre, el primero fue adquirido por la EPMAPS en el 2011 y el segundo por el FONAG en enero de 2017. Históricamente estos predios eran haciendas que albergan miles de alpacas que provocaron gran impacto en los suelos y la degradación de sus humedales. Esta ACH contribuye en su totalidad como fuente de agua al sistema

Pita – Puengasí y a la cascada de centrales hidroeléctricas de la Empresa Eléctrica de Quito (EEQ). En la imagen 5 se muestran los sitios de estudio seleccionados.

**FONAG**

**Río Chamilco**
Ingresó al ACH en el 2017

**Río Chan**
Ingresó al ACH en el 2017

**Río Pita**
Ingresó al ACH en el 2017

**Río Mudadero**
Ingresó al ACH en 2011

**Imagen Nº5 Sitios de estudio del ACH Alto Pita**
**Elaborado por:** La autora (2019)

El ACH Ponce Paluguillo fue creada en diciembre de 2018 y está constituida por los predios Ponce y Paluguillo con una superficie total de 4200 ha. No existen datos preliminares sobre la calidad de agua en esta área, por eso se decidió levantar información inicial en dos ríos que sirvan de referencia para futuras investigaciones. En la imagen 6 se muestran los sitios de estudio seleccionados.

**FONAG**

**Río Carihuayco**
Ingresó al ACH en el 208

**Río Pucahuayco**
Ingresó al ACH en el 2017

**Imagen Nº6 Sitios de estudio del ACH Ponce Paluguillo**
**Elaborado por:** La autora (2019)

## DISEÑO DE ESTUDIO

Para el ACH Antisana se utilizó un diseño pareado de zonas de control y zonas de manejo (FONAG) que consiste en establecer puntos de comparación para evaluar los efectos de las estrategias de conservación y protección hídrica implementadas (Higgins y Zimmerling, 2013). Se comparó los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, la composición de macroinvertebrados y la integridad del hábitat fluvial y de zona ribereña de dos ríos ubicados dentro de la ACH con los dos ríos fuera del área de manejo, considerados como control.

Para el ACH Alto Pita se realizó un diseño de análisis temporal (2014-2019) que consistió en analizar los cambios de la calidad del agua, la composición de macroinvertebrados y la integridad del hábitat de ribera y fluvial entre los años 2014 y 2019 en cuatro ríos ubicados dentro del ACH, para evaluar la eficacia de las estrategias de conservación implementadas por el FONAG.

El ACH Ponce Palguillo fue creada en diciembre de 2018 y no cuenta con datos previos para realizar un análisis temporal; tampoco se puede comparar con sitios control porque aún no se han implementado estrategias de conservación y protección hídrica. Por tal motivo, se realizó un diagnóstico inicial de dos ríos ubicados dentro del ACH para proporcionar información base para futuros estudios.

En el gráfico 1 se representa el diseño de estudio.

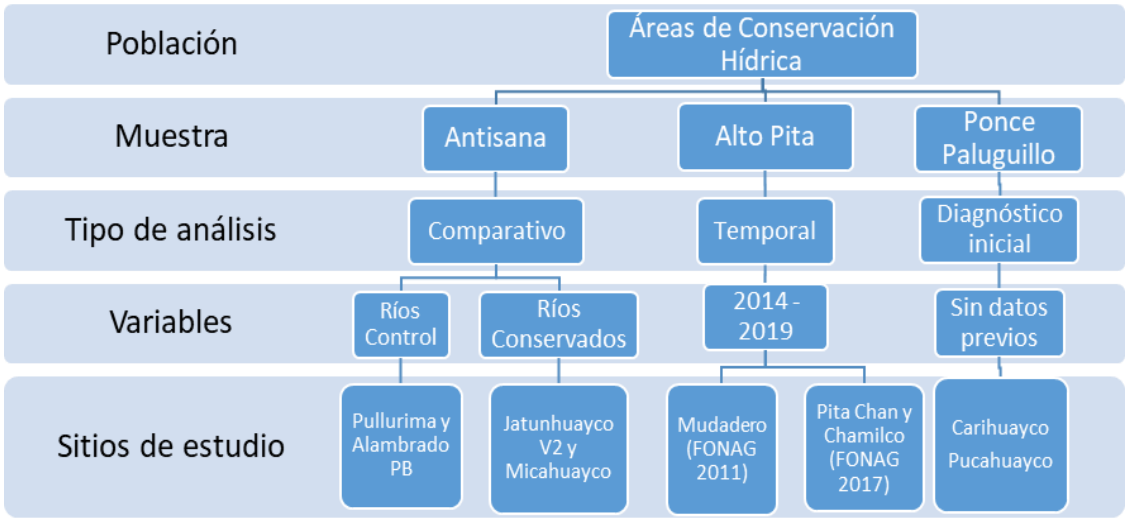



***Gráfico Nº 1. Diseño de estudio***

La evaluación de la calidad del hábitat fluvial y de ribera; y el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y de macroinvertebrados se realizaron en un transecto de 100 metros de longitud a lo largo del río. El diseño de muestreo de representa en la imagen 7.

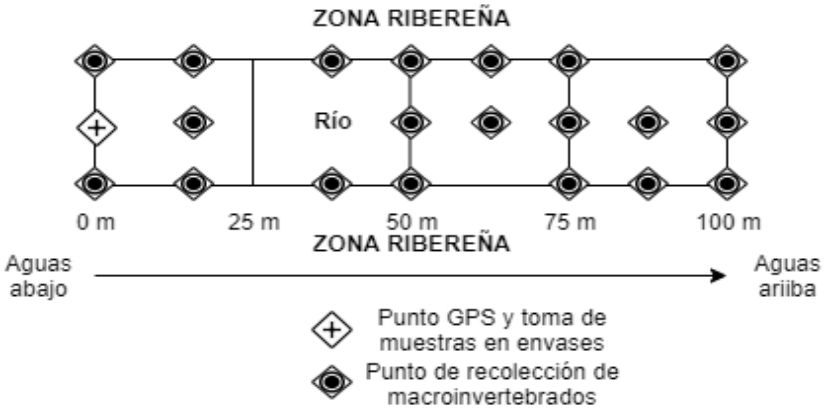



**Imagen Nº7 Diseño de muestreo en transecto de 100 metros**
**Elaborado por:** La autora (2019)

### Monitoreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Las muestras de agua fueron recolectadas en cada uno de los puntos de muestreo de los sitios de estudio seleccionados. En el cuadro 18 se especifica el procedimiento, el equipo y el método empleado para cada parámetro evaluado.

**Cuadro Nº 18. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

| Parámetros in situ | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parámetro** | | **Equipo** | **Procedimiento** | |
| pH | | Multiparámetro de bolsillo HANNA HI 98129 | Sumergir la sonda del multiparámetro limpia en el agua a muestrear. Los resultado de las mediciones se registran en la hoja de campo. | |
| Temperatura | | | | |
| Conductividad eléctrica | | | | |
| Sólidos Disueltos Totales | | | | |
| Oxígeno Disuelto | | Multiparámetro portátil HANNA HI 9829 | | |
| **Parámetros en laboratorio** | | | | |
| **Parámetro** | **Envase** | **Procedimiento** | **Preservante** | **Método de análisis** |
| $DBO_5$ | Plástico PET 500 ml | Sumergir el envase de forma contraria al flujo, evitando la inclusión de aire por flujo turbulento. Llenar el recipiente de muestreo con una porción de agua del cuerpo hídrico muestreado. Sellar herméticamente e identificar los envases con etiquetas. | El envase con la muestra de agua debe estar libre de aire (sin burbujas). Preservar la muestra en coolers a 4ºC. | APHA 5210 B |
| Nitratos | Plástico PET 500 ml | | Preservar la muestra en coolers a 4ºC. | APHA 4500 $NO_3$ B |
| Fosfatos | Plástico PET 500 ml | | Preservar la muestra en coolers a 4ºC. | APHA 4500 P E |
| Turbidez | Plástico PET 500 ml | | Preservar la muestra en coolers a 4ºC. | APHA 2130 B |
| Fósforo total | Plástico PET 500 ml | | Preservar la muestra con ácido sulfúrico y en coolers a 4ºC. | APHA 4500 P C |
| Coliformes fecales | Plástico estéril 100 ml | Llenar el recipiente hasta tres cuartas partes de su capacidad para permitir la aireación y asegurar la supervivencia de los microorganismos. | Preservar la muestra en coolers a 4ºC. | APHA 9221 E |

**Elaborado por:** La autora (2019)

## Monitoreo e identificación de macroinvertebrados

Para monitorear macroinvertebrados se utilizó la técnica de recolección instantánea con red de patada, que tienen una malla de 0.5 mm y está sujeta a un

palo de 1.50 m de largo. Permite remover los sustratos del fondo del río, donde se encuentran los macroinvertebrados.

En cada punto de muestreo se definió un transecto de 100 m de longitud (imagen 7), donde se realizaron 20 *kicks* o "patadas" para tomar muestras de macroinvertebrados. El esfuerzo de muestreo fue de una hora por transecto, es decir, tres minutos aproximadamente por patada y se inició aguas abajo con el fin de evitar perturbaciones en los macroinvertebrados sensibles al movimiento de agua y de sedimentos.

Al finalizar cada *kick* se vaciaba la red en una bandeja plástica, una vez terminado el monitoreo se separaron los trozos de piedras, madera y hojas; mientras que los macroinvertebrados fueron colocados en fundas ziploc con su respectiva identificación. Para conservarlos durante el transporte al laboratorio se los fijó con etanol al 96% y se almacenaron en coolers a 4ºC.

En el laboratorio se colocaron las muestras en una bandeja plástica blanca, se limpiaron y se separaron los macroinvertebrados para ser observados en un estereoscopio y poder identificarlos hasta el nivel taxonómico de familia.

**Monitoreo del hábitat fluvial y de ribera**

Para el monitoreo del hábitat fluvial se empleó el protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) establecido por Acosta et al. (2009). Se evaluaron siete aspectos independientes, cada uno con su respectiva puntuación. El valor del IHF es la suma de los puntajes de cada aspecto evaluado. La ficha de campo utilizada para evaluar el IHF y la descripción de los parámetros evaluados en cada bloque se encuentran en el Anexo 2.

Para el monitoreo del hábitat de ribera se empleó el protocolo de evaluación de QBR-And de Acosta et al. (2018) que fue adaptado a la zona de páramo andino sobre los 2000 msnm. El QBR-And considera cuatro componentes, cada uno con puntuación entre 0 y 25. La descripción de cada componente y los criterios que se

consideraron se encuentran descritos en la hoja de campo (Anexo 3). La sumatoria de los puntajes de cada componente determina la calidad de la vegetación ribereña.

**Análisis de datos**

Con los datos recolectados en los monitoreos se calcularon: el Índice de Calidad de Agua (ICA), el Índice de Estado Trófico (TSE), los Índices de macroinvertebrados EPT, ASPT-Ecuador y ABI; y los índices IHF y QBR-And. Además, se utilizó el software *InfoStat* y el programa *Excel* para realizar los análisis estadísticos y la interpretación de los resultados.

# CAPÍTULO III

# RESULTADOS

## CALIDAD DE AGUA SEGÚN PARÁMETROS AMBIENTALES

El análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el año 2019 evidencia que muy pocos valores superan los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA (Cuadro 18). En la normativa ecuatoriana no está definido el límite del fosfato, pero los criterios de calidad de agua de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos US-EPA sugieren que el agua de ríos y lagunas naturales no debe tener concentraciones superiores a 0.1 mg/L. Sin embargo, los ríos Pullurima con 0.47 mg/L y Micahuayco con 0.26 mg/L están sobre el límite. Además, Pullurima también presenta una concentración de fósforo total de 4.45 mg/L, superior al límite máximo permisible que sugiere una posible tendencia a un proceso de eutrofización; pero en Micahuayco se observa mejoría desde el 2014, donde Encalada et al. (2017) reportó un valor de 0.314 mg/L.

De manera similar, la $DBO_5$ de Pullurima y Pita es de 6.48 y 4.62 mg/L respectivamente, que exceden el límite permitido. Éste es un indicador de contaminación con desechos orgánicos, como las heces de ganado. Actualmente, Pullurima está ubicado en una hacienda ganadera y se evidenció la presencia de vacas en las orillas del río al momento de tomar las muestras de agua, éstas constituirían la principal fuente de contaminación en este río; mientras que el Pita está cerca al campamento de los guardapáramos del ACH Alto Pita, donde se encuentra el establo de los caballos que utilizan para vigilar y monitorear el predio. Por lo tanto, los resultados en el río Pita sugieren que el ganado equino podría ser un foco de contaminación que puede ser fácilmente controlado.

**Cuadro Nº 19. Parámetros ambientales de los sitios de estudio (2019)**

| Parámetros | Jatunhuayco V2 | Micahuayco | Pullurima | Alambrado PB | Mudadero | Pita | Chamilco | Chan | Carihuayco | Pucahuayco |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **pH** | 6.8 | 8.04 | 6 | 7.42 | 7.25 | 6.5 | 8.3 | 8.1 | 7.7 | 8.3 |
| **Var. Temp (°C)** | 1.1 | 2 | 2.8 | **3.7** | 0.7 | 0.9 | 0.8 | 1.1 | 2.4 | 1.6 |
| **Conductividad (µs/cm)** | 105.40 | 156.70 | 213.6 | 94.50 | 77.6 | 103.3 | 75 | 105.4 | 81.1 | 89.3 |
| **Sólidos Disueltos Totales (mg/L)** | 115 | 92 | 167 | 75 | 74 | 70.4 | 83.3 | 74 | 75 | 58 |
| **Oxígeno Disuelto (%)** | 64 | 74 | 46.3 | 61 | 83 | 75.2 | 66 | 55 | 55 | 60 |
| **DBO5 (mg/L)** | 1.8 | 1.4 | **6.48** | 1.65 | 1.9 | **4.62** | 0.5 | 1.1 | 0.62 | 0.4 |
| **Nitratos (mg/L)** | 0.2 | 0.2 | 0.7 | 0.2 | 0.25 | 0.2 | 0.28 | 0.55 | 0.2 | 0.2 |
| **Fosfatos (mg/L)** | 0.1 | **0.26** | **0.47** | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| **Turbidez NTU** | 6 | 4 | 8.3 | 5 | 2.83 | 2.53 | 2.3 | 3.8 | 2.41 | 4 |
| **Fósforo Total (mg/L)** | 0.15 | 0.13 | **4.45** | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.13 | 0.09 |
| **Coliformes fecales (NMP/100 ml)** | 1 | 1 | 40 | 1 | 4 | 76 | 2 | 2 | 1.1 | 24 |

**Nota.** Los valores de color rojo superan el límite máximo permisible según el TULSMA. En azul se señalan los sitios manejados por el FONAG y en verde los sitios control. **Elaborado por:** La autora (2019)

Comparando los datos del 2014 con el 2019 se evidencia una variabilidad importante de un año a otro, específicamente en parámetros como el pH, los nitratos, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales y los coliformes fecales. Además, es clara y significativa la diferencia entre sitios control y de manejo, lo que confirma una mejora en algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los ríos desde su ingreso a las ACH.

En el gráfico 2 se observa la variación de los valores de pH de cada río desde el 2014 hasta el 2019. Las líneas rojas señalan el rango óptimo de pH para preservar flora y fauna en aguas dulces frías según el TULSMA (2015).

En el 2016 únicamente el Micahuayco está dentro de los límites establecidos. Los ríos Pita, Chamilco y Chan pasan de ser sitios control a formar parte del ACH Alto Pita en el 2017 y se implementan estrategias de recuperación intensivas. Los resultados del 2019 reflejan que Pullurima es el único río con pH inferior al rango establecido e incluso se observa una tendencia de decrecimiento desde el 2014.

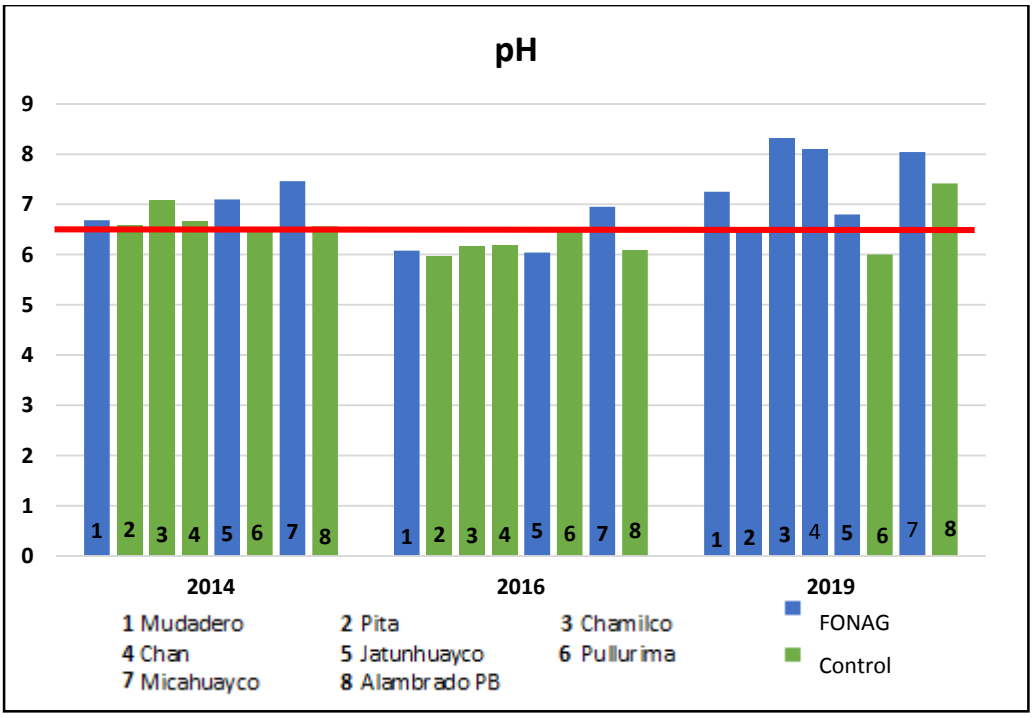



**Gráfico Nº 2. pH de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

La concentración de nitratos debe ser inferior a 1 mg/L para no limitar el desarrollo de la vida acuática (Barrenechea, 2010). Al comparar los datos del 2014 con el 2019 se evidencia que la mayoría de ríos tenían concentraciones superiores al límite óptimo, pero en el 2019 los valores disminuyen significativamente hasta ubicarse por debajo del valor umbral.

Únicamente en Pullurima incrementó la concentración de nitratos, esto se debe, a la presencia de ganadería intensiva en el sector aledaño al río, donde se utilizan abonos químicos que se suman a los abonos naturales que provienen de las heces de los animales y constituyen la principal fuente de compuestos nitrogenados que se infiltran a través del suelo y por escorrentía llegan hasta los cuerpos de agua (Barrenechea, 2010). Por el aumento de los nitratos y fosfatos en Pullurima a lo largo del tiempo existe riesgo de eutrofización en este río.

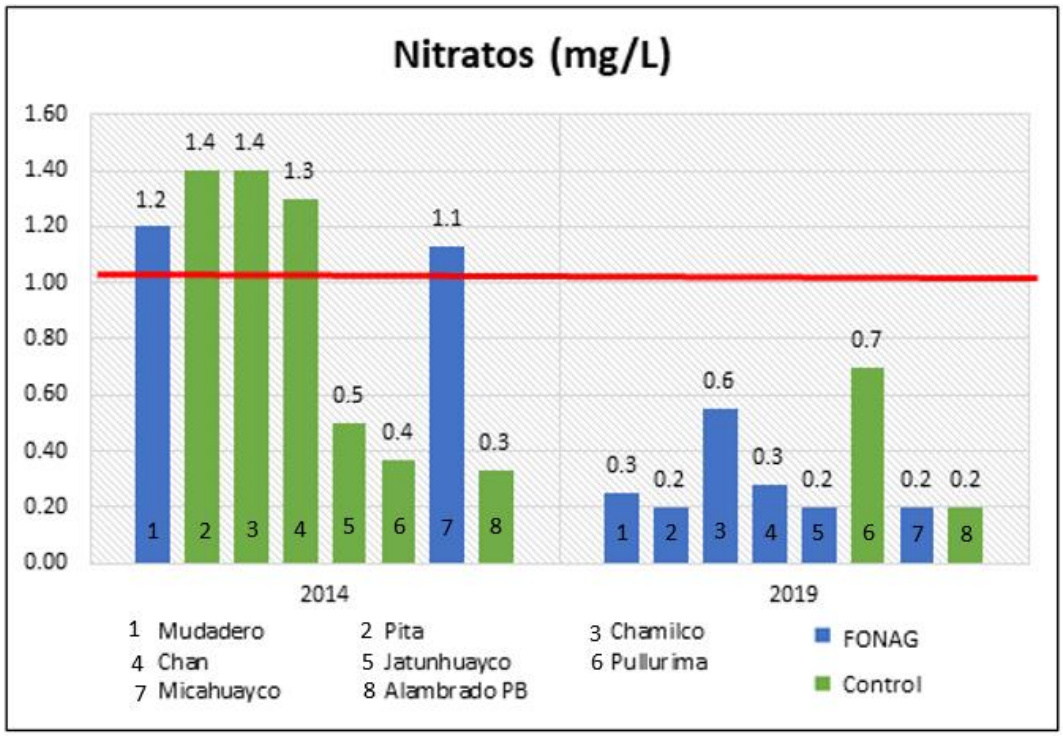



**Gráfico Nº 3. Nitratos de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

Los sólidos disueltos totales disminuyeron en todos los ríos manejados por el FONAG y los que ingresaron a las ACH desde el 2017. A diferencia de los sitios

control Pullurima y Alambrado Parte Baja, donde existen valores más altos que en el 2014. Abel y Allan (2002) reportan que ríos de zonas agrícolas y ganaderas tienen mayor cantidad de sólidos disueltos totales en el agua por la carga orgánica que aportan a las fuentes de agua (Gráfico 4).

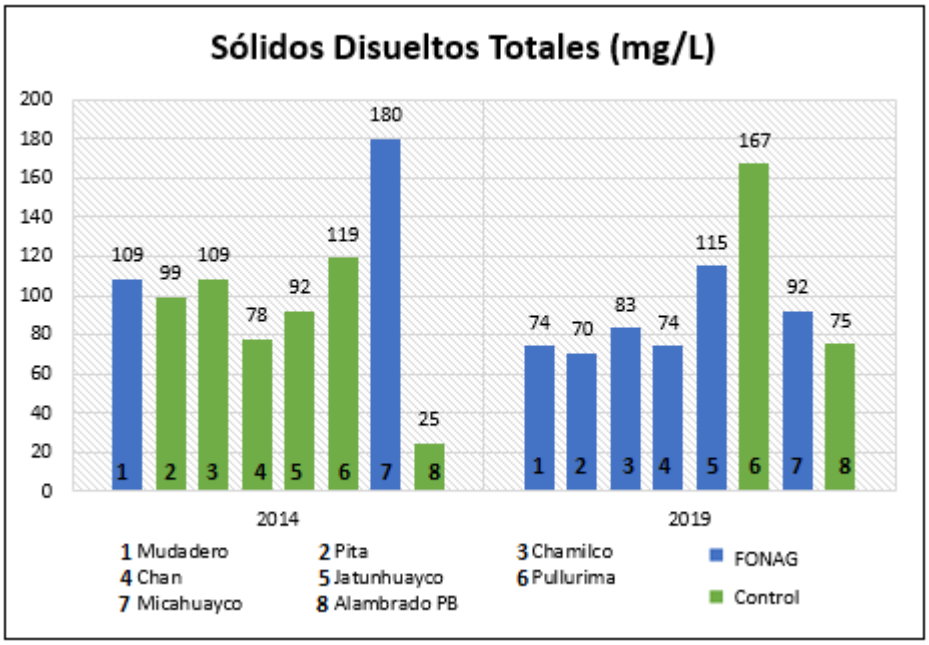



**Gráfico Nº 4. Sólidos disueltos totales de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

La disminución de la concentración de sólidos disueltos totales desde el 2014 hasta el 2019 en los ríos manejados por el FONAG concuerda con el decrecimiento de los datos de conductividad (Gráfico 5). Ambos parámetros están interrelacionados y su disminución descarta cualquier posibilidad de salinización de suelos adyacentes a los cuerpos de agua o alteración de la biodiversidad acuática.

Las concentraciones de conductividad eléctrica superiores a 750 µS/cm producen alteraciones sobre la biodiversidad acuática (Yánez, 2018). Sin embargo, ninguno de los ríos evaluados presenta valores superiores al límite crítico.

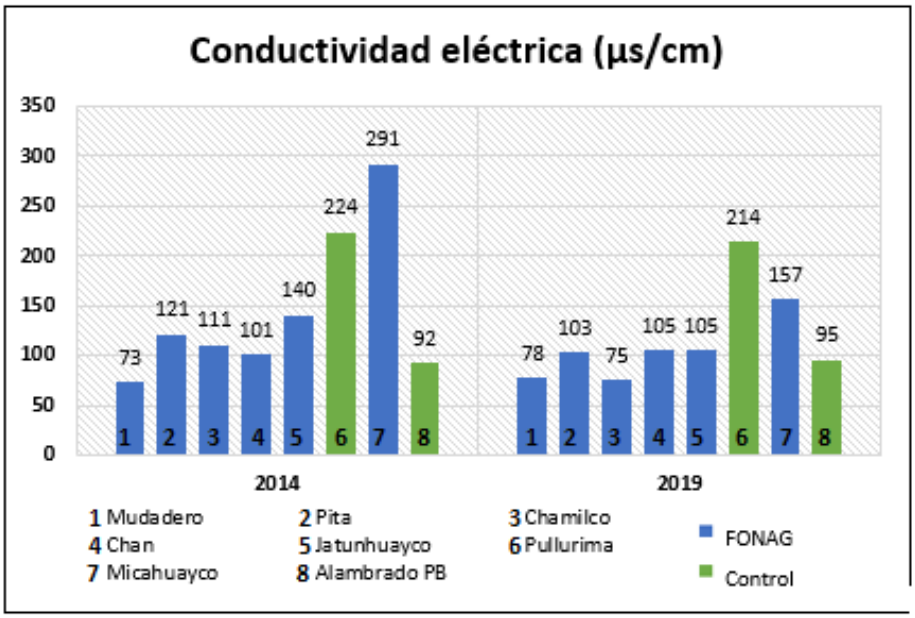



**Gráfico Nº 5. Conductividad eléctrica de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

En el gráfico 6 se observa que la cantidad de coliformes fecales disminuyó desde el 2014 hasta el 2019 en todos los ríos, excepto en Pullurima y Pita. El incremento de coliformes fecales está relacionado directamente con los excrementos de ganado; en el caso de Pullurima, el principal foco de contaminación es la hacienda ganadera, pero en Pita, el aumento significativo puede explicarse por la presencia de caballos cerca al río y que son utilizados por los guardapáramos del ACH Alto Pita para vigilar y monitorear el área, este impacto puede ser fácilmente controlado.

Además, la cantidad de coliformes fecales en todos los ríos no sobrepasa el límite máximo permisible establecido por el TULSMA (2015).

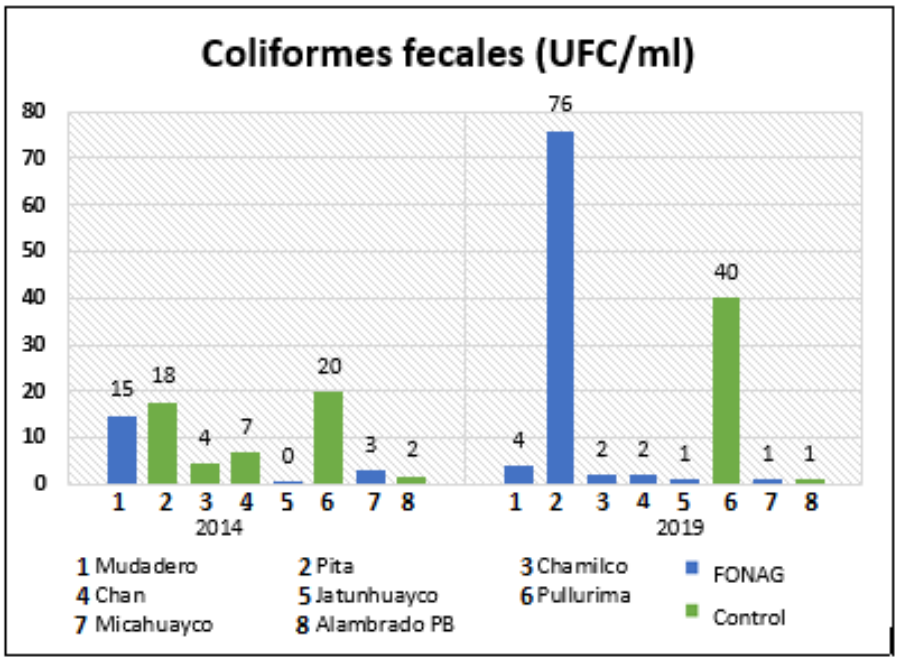



**Gráfico Nº 6. Coliformes fecales de los sitios de estudio de las ACH Antisana y Alto Pita (2014 - 2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

## ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

Los resultados del ICA representados en el gráfico 7 determinan que los ríos Jatunhuayco, Alambrado Parte Baja, Mudadero, Chamilco y Chan tienen calidad de agua buena - aceptable, según la clasificación propuesta por Brown et. al (2010) el agua requiere una purificación menor para ser consumida. Sin embargo, Pullurima tiene una calidad de agua regular – contaminada, es decir, se necesita tratamiento de potabilización considerable para su consumo.

Al calcular el ICA se resumieron los datos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos generados en los monitoreos para sintetizar la información variada y compleja y facilitar la comunicación de los resultados y comprender el estado de la calidad del agua de los ríos evaluados desde el enfoque de consumo humano. Los cálculos realizados para cada sitio de estudio se encuentran detallados en el Anexo 5.

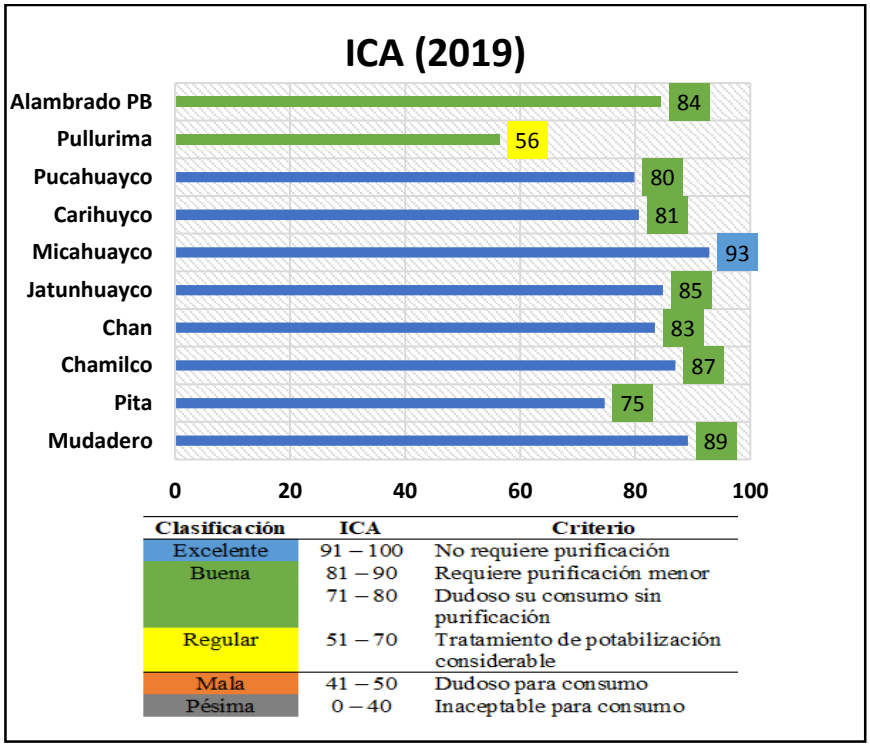



**Gráfico Nº 7. ICA de los sitios de estudio (2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

## ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (TSI)

Todos los ríos evaluados son mesotróficos, es decir, poseen la cantidad necesaria de nutrientes para el desarrollo de la vida acuática de plantas y animales. Sin embargo, Pullurima presenta el valor más bajo de TSI, es decir, existe riesgo de eutrofización (Cuadro 20).

**Cuadro Nº 20. Estado trófico de los ríos del ACH Antisana**

| Párámetro | Fósforo Total (mg/L) | Valor TSI | Nivel trófico |
|---|---|---|---|
| Jatunhuayco | 0.15 | 55.91 | Mesotrófico |
| Pullurima | 4.45 | 38.31 | Mesotrófico |
| Micahuayco | 0.13 | 56.66 | Mesotrófico |
| Alambrado PB | 0.09 | 57.30 | Mesotrófico |
| Mudadero | 0.09 | 57.30 | Mesotrófico |
| Pita | 0.09 | 57.30 | Mesotrófico |
| Chan | 0.09 | 57.30 | Mesotrófico |
| Chamilco | 0.09 | 57.30 | Mesotrófico |
| Carihuayco | 0.13 | 56.65 | Mesotrófico |
| Pucahuayco | 0.09 | 57.30 | Mesotrófico |

**Elaborado por:** La autora (2019)

## CALIDAD DEL HÁBITAT FLUVIAL (IHF)

Como se observa en el gráfico 8, el IHF de los ríos ubicados dentro de las ACH se mantiene o se incrementa desde el 2014 hasta el 2019. Sin embargo, el IHF de los sitios control, Pullurima y Alambrado Parte Baja disminuyó

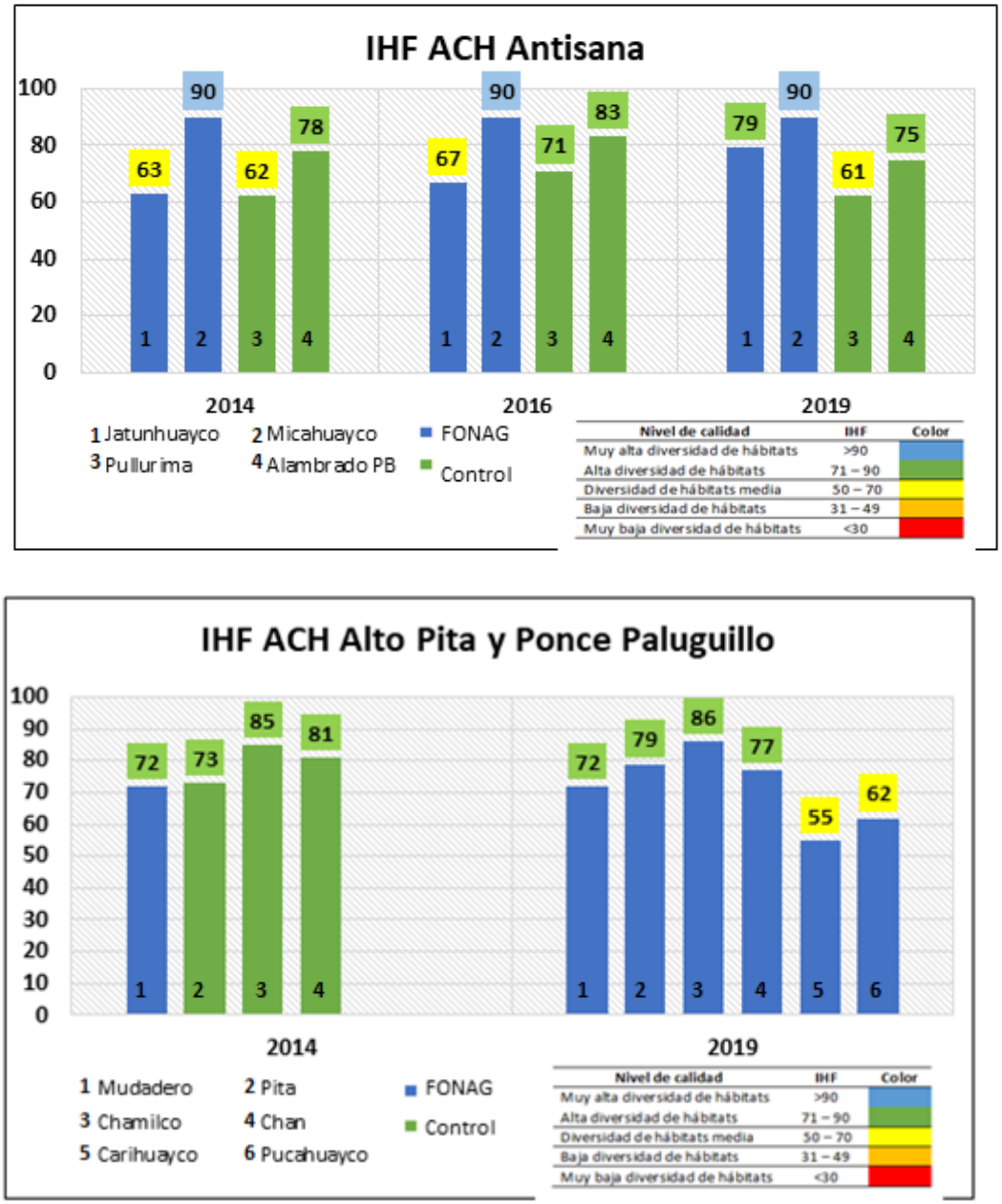



**Gráfico Nº 8. IHF de los sitios de estudio (2014 – 2019)**

**Elaborado por:** La autora (2019)

Para el 2019, la mayoría de ríos presentan una alta diversidad de hábitats que favorecen la presencia y la riqueza de organismos acuáticos. Carihuayco y Pucahuayco tienen una diversidad de hábitats media, es decir, limita el desarrollo de la biota acuática, como por ejemplo los macroinvertebrados. Sin embargo, es importante considerar que los muestreos en el ACH Ponce Paluguillo se realizaron en época seca, donde el IHF disminuye considerablemente por la presencia de mayores caudales que provocan una menor inclusión del substrato por el lavado de sedimentos finos a mayores velocidades de corriente e incluso los elementos de heterogeneidad disminuyen (Pardo et. al, 2002).

En el caso de Pullurima, el muestreo se realizó en época seca, por lo tanto, la diversidad de hábitats media se puede atribuir al impacto de la ganadería sobre parámetros ambientales del agua que afectan en el desarrollo de organismos acuáticos.

## CALIDAD DEL HÁBITAT DE VEGETACIÓN DE RIBERA (QBR-And)

Al comparar los datos de QBR-And del 2014 y el 2019 (Gráfico 9), se evidencia que los ríos Micahuayco y Chamilco incrementaron su valor significativamente hasta alcanzar una calidad de hábitat de vegetación de ribera intermedia con alteración importante y buena con ligera perturbación, respectivamente. Pero en los sitios control, Pullurima y Alambrado Parte Baja el valor disminuyó y presentan una calidad pésima por degradación extrema y calidad mala por alteración fuerte, respectivamente.

A pesar de que, los ríos Jatunhuayco, Mudadero, Pita y Chan se encuentren en la categoría de mala calidad de hábitat de vegetación ribereña por alteración fuerte, es evidente que los valores han incremento desde el 2014 y que muchos se encuentran cerca al límite de la categoría de mala calidad (30 – 50), por lo tanto, si la tendencia en aumento continúa es posible que los ríos manejados por el FONAG pasen a la categoría de calidad intermedia. Además, en el monitoreo del 2019 se evidenció la dominancia de especies de los géneros *Gynoxis*, *Polylepis*, *Brachyotum*, y Diplostephium en las franjas ribereñas de los ríos Jatunhuayco y Chan.

En Mudadero, se evidenció la dominancia de especies herbáceas bajas y rosetas resistentes al pastoreo como *Lachemilla orbiculata* y *Werneria nubigena*, que refleja el fuerte impacto del pastoreo y las quemas características de esta zona en años previos a la intervención por parte del FONAG. Sin embargo, el porcentaje del suelo desnudo es menor al de años anteriores y se observan signos de recuperación como, por ejemplo, el aparecimiento de un estrato arbustivo en ciertas zonas ribereñas del río.

Por su parte, Carihuayco y Pucahuayco presentan valores de QBR-And que determinan una calidad de vegetación de ribera intermedia con inicios de alteración importante.

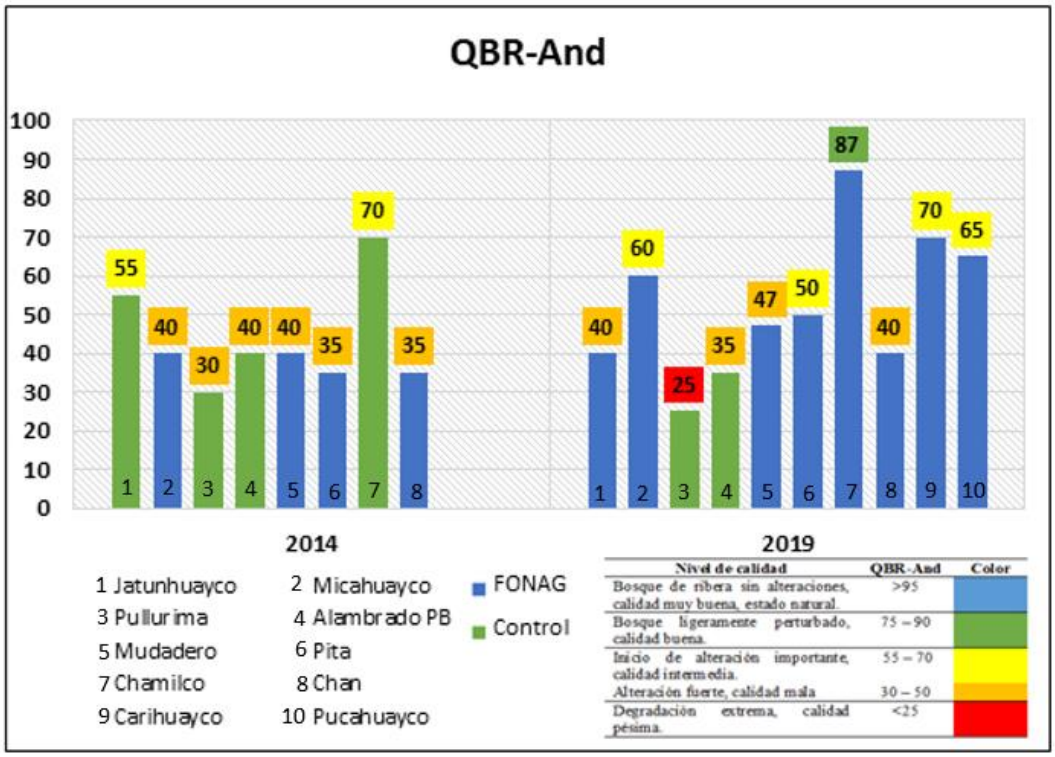



**Gráfico Nº 9. QBR-And de los sitios de estudio (2014 y 2019)**

**Elaborado por:** La autora (2019)

## CALIDAD DEL AGUA SEGÚN INDICADORES BIOLÓGICOS

La composición de macroinvertebrados identificada en cada ACH se muestra en el cuadro 21.

**Cuadro Nº 21. Composición de macroinvertebrados en cada ACH**

| ACH | # Individuos | # Órdenes | # Familias | # EPT | % EPT |
|---|---|---|---|---|---|
| Antisana | 289 | 11 | 16 | 78 | 27% |
| Alto Pita | 647 | 12 | 16 | 335 | 51.78% |
| Ponce Paluguillo | 122 | 9 | 13 | 32 | 10% |

**Nota.** EPT (*Ephemeroptera, Plecoptera* y Tricopthera). **Elaborado por:** La autora (2019)

Los resultados de los índices de calidad de agua según macroinvertebrados se muestran en el cuadro 22.

**Cuadro Nº 22. Índices EPT, ABI y ASPT-E de los sitios de estudio (2014 – 2019)**

| Río | EPT | | ABI | | ASPT-E | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2014 | 2019 | 2014 | 2019 | 2014 | 2019 |
| Mudadero | 4.30% | 37.30% | 65 | 59 | 0.75 | 0.75 |
| | MALA | REGULAR | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA |
| Pita | 19.80% | 33% | 73 | 87 | 0.75 | 0.82 |
| | MALA | REGULAR | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA |
| Chamilco | 57.60% | 70% | 83 | 89 | 0.82 | 0.84 |
| | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA |
| Chan | 27.70% | 47.70% | 96 | 58 | 0.75 | 0.67 |
| | REGULAR | REGULAR | BUENA | REGULAR | BUENA | MEDIANA |
| Jatunhuayco | 19.39% | 29.90% | 75 | 71 | 0.69 | 0.71 |
| | MALA | REGULAR | BUENA | BUENA | MEDIANA | MEDIANA |
| Pullurima | 9.31% | 9.40% | 41 | 31 | 0.56 | 0.59 |
| | MALA | MALA | REGULAR | MALA | POBRE | POBRE |
| Micahuayco | 40.77% | 58.20% | 89 | 78 | 0.82 | 0.78 |
| | REGULAR | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA | BUENA |
| Alambrado PB | 7.83% | 19.40% | 75 | 77 | 0.7 | 0.73 |
| | MALA | MALA | BUENA | BUENA | MEDIANA | MEDIANA |
| Carihuayco | | 22.20% | | 37 | | 0.6 |
| | | MALA | | REGULAR | | MEDIANA |
| Pucahuayco | | 29.40% | | 62 | | 0.75 |
| | | REGULAR | | BUENA | | BUENA |

**Elaborado por:** La autora (2019)

Al comparar los resultados del índice EPT del 2014 y 2019 se evidencia un incremento significativo en los ríos Mudadero, Pita y Jatunhuayco, actualmente tienen agua de calidad regular, en comparación al 2014, donde tenían calidad mala.

Lo mismo ocurre en Micahuayco, que pasó de calidad regular a buena. Por su parte, Chamilco incrementó el valor de EPT, pero se mantiene en la categoría de calidad buena. Mientras que, Pullurima y Alambrado Parte Baja, a pesar de haber incrementado el porcentaje de EPT aún presentan calidad mala de agua. Sin embargo, éste aumento en los sitios control podría ser un indicador del efecto del manejo que implementa el FONAG sobre las zonas aledañas, es decir, los impactos de las estrategias de protección y conservación se están transmitiendo hacia las áreas inmediatamente adyacentes al borde del ACH Antisana, porque los sitios control están a apenas 1,1 Km de los límites del predio.

Las familias más frecuentes en los ríos ubicados en las ACH son *Gripopterigidae, Baetidae, Hyallelidae, Elmidae, Ceratopongonidae* y *Scirtidae Simulidae,* en su mayoría indicadoras de buena calidad de agua. Mientras que, en los sitios control se observa la presencia de mayor número de individuos de las familias *Baetidae, Hyallelidae, Planariidae, Tubficidae, Elmidae* y *Scirtidae* (Anexo 4).

La calidad del agua es buena según el índice ABI en los ríos Mudadero, Pita, Chamilco, Jatunhuayco, Micahuayco y Alambrado Parte Baja. Además, se observa que en estos sitios el valor del ABI se ha mantenido o incrementado desde el 2014 hasta el 2019. Todo lo contrario, ocurre con el Chan, porque se evidencia una disminución del valor del ABI que en el 2019 se encuentra en 58, es decir, en el límite superior del rango de la categoría intermedia (36-58), por esta razón, no se puede afirmar que existe degradación en la calidad del agua. En este caso, la variación numérica se puede deber al método de muestreo empleado y al número de muestras tomadas. A pesar de no existir una diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de recolección de macroinvertebrados, las diferencias de capturabilidad de cada taxón no se asocian a un método específico, porque en algunos sitios se encontrarán taxones que han sido capturados con un método, pero no con otro (Torralba y Ocharan, 2007).

Por otra parte, Pullurima disminuyó el valor del índice ABI desde el 2014, que tenía calidad del agua era regular al 2019, que presenta calidad mala. Por lo tanto, es evidente la contaminación de este recurso hídrico por el sobrepastoreo.

El índice ASPT-E confirma los resultados sobre calidad de agua de los ríos Mudadero, Pita, Chamilco, Chan, Pullurima y Micahuayco obtenidos con el ABI. Sin embargo, Alambrado Parte Baja y Jayunhuayco presentan calidad buena según el ABI e intermedia según el ASPT-E, esto se debe a que el índice ASPT-E tiene un rango más estricto para cada categoría porque nos permite comparar los datos de cada sitio de estudio con un valor referencial que equivale a un río sin ninguna alteración. Además, los valores se encuentran cerca al límite de la categoría buena (0.75-0.9).

Los ríos Carihuayco y Pucahuayco tienen calidad de agua mala y regular según el índice EPT; regular y buena acorde al índice ABI y ASPT-E, respectivamente. De los tres índices analizados, el EPT proporciona información sobre el porcentaje de individuos que están presentes en aguas de buena calidad y con condiciones fisicoquímicas óptimas para su desarrollo. El ABI y el ASPT-E considerar la diversidad de familias de macroinvertebrados, ya sea sensibles o resistentes a la contaminación.

Los resultados evidencian una tendencia de incremento de los valores de los índices EPT, ABI y ASPT-E en los ríos manejados por el FONAG y mejor calidad de agua que los sitios control. Además, se identificaron en los ríos manejados por el FONAG dos familias únicas, *Gripopterygidae* y *Blephariceridae*, indicadoras de buena calidad de agua.

**Análisis estadístico parámetros fisicoquímicos, biológicos y biológicos**

El Análisis de Componentes Principales (PCA) que se presenta en el gráfico 10 consideró todas las variables analizadas (pH, conductividad eléctrica, variación de la temperatura, nitratos, fosfatos, fósforo total, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos y $DBO_5$), los índices calculados (IHF, QBR-And, TSI, ICA, EPT,

ABI, y ASPT-E) y todos los sitios de estudio para realizar un análisis conjunto de la distribución de los ríos según la calidad ambiental.

Los parámetros ubicados hacia la derecha indican una degradación de la calidad del agua. Por esta razón, Pullurima al tener las concentraciones más altas de fosfatos, fósforo total, $DBO_5$ y coliformes fecales se encuentra desplazado hacia la derecha y muy distante de los demás sitios de estudio.

Por el contrario, hacia la izquierda se encuentran Chamilco, Chan y Mudadero, que tienen concentraciones menores de fosfatos, fósforo total, $DBO_5$ y coliformes fecales; y valores más altos de Oxígeno Disuelto, ICA, EPT, QBR-And e IHF, que son indicadores de buena calidad del agua.

En la parte superior se encuentran Micahuayco, Chan y Chamilco porque tienen los valores más altos de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, ABI, y ASPT; mientras que, hacia abajo se ubican los ríos con menores valores de los parámetros mencionados anteriormente.

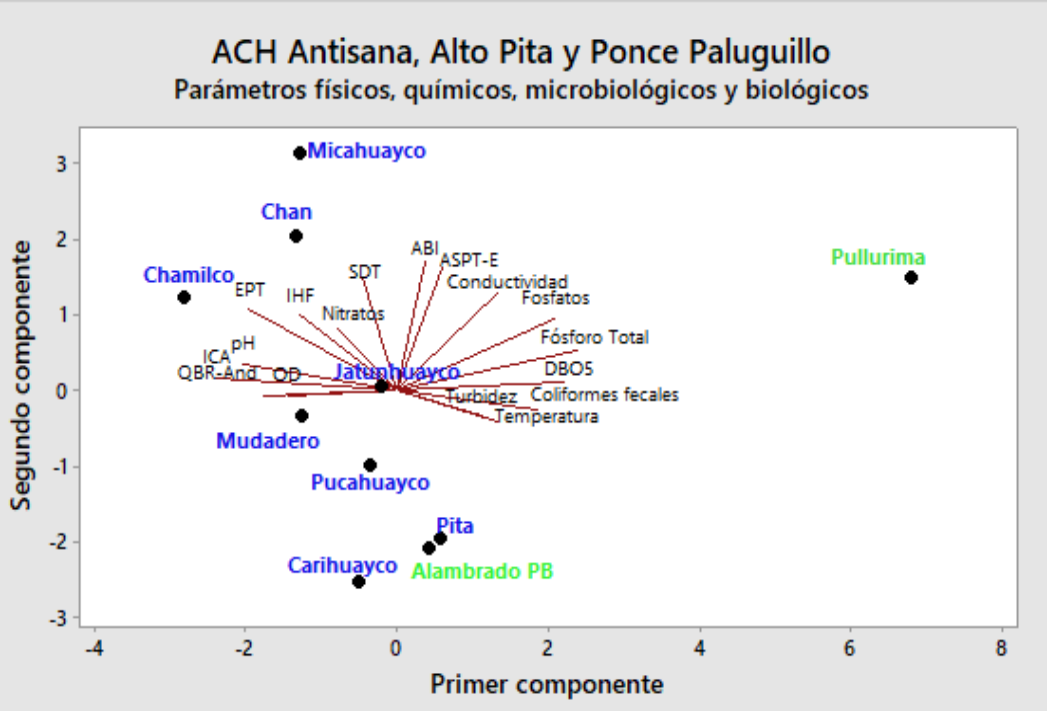



**Gráfico Nº 10 Análisis de PCA de parámetros físicos, químicos y biológicos de los sitios de estudio (2019)**
**Elaborado por:** La autora (2019)

El PCA también indica que los índices IHF y QBR-And están opuestos a parámetros como fosfatos, fósforo total, $DBO_{5,}$ coliformes fecales y turbidez que en concentraciones elevados disminuyen la calidad del agua. Por lo tanto, estos índices proporcionan una información confiable sobre el estado ambiental y ecológico de los recursos hídricos.

En el caso de los índices de macroinvertebrados, se puede observar que el EPT está relacionado directamente con el ICA, el IHF y el QBR-And, pero en sentido opuesto al ABI y al ASPT-E. Esto ocurre porque el EPT considera únicamente a los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera y Trichoptera*, que son muy sensibles a la contaminación, por esta razón, estarán presentes en ríos con mayor concentración de oxígeno disuelto y menores concentraciones de fosfatos, fósforo total, $DBO_5$ y coliformes fecales. Por el contrario, los índices ABI y ASPT-E evalúan la diversidad de macroinvertebrados presentes en un cuerpo de agua, es decir, incluyen a familias sensibles y tolerantes a la contaminación, siendo éstas últimas las que menor puntuación tienen.

# CONCLUSIONES

Al comparar los datos del 2014 hasta el 2019, se evidencia una variabilidad importante en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, el fósforo total, fosfatos, $DBO_5$ y coliformes fecales son mayores en los sitios control que en los sitios manejados por el FONAG. Estas diferencias se deben a la reducción de la carga del ganado y a la recuperación de la cobertura vegetal de los sitios que forman parte de las ACH.

El ICA establece que la calidad del agua de los ríos ubicados dentro de las ACH es buena – leve y buena – aceptable; mientras que, Pullurima, sitio control presenta una calidad regular – contaminada. En el caso de Alambrado Parte Baja no presenta un deterioro tan significativo de la calidad del agua como Pullurima, porque a pesar de que sea considerada como sitio control porque está ubicado fuera del ACH Antisana, está dentro de la Reserva Ecológica Antisana administrada por el Ministerio de Ambiente, quienes también han implementado medidas de conservación como, por ejemplo, la disminución de la carga animal de alpacas, ganado vacuno y caballar.

Los resultados evidencian que los programas de restauración implementados por el FONAG tienen efectos positivos en las zonas inmediatamente aledañas al ACH Alto Pita, porque parte del río Chan se encuentra fuera de los límites del predio Campo Alegre y los datos reportan un incremento en la cobertura vegetal y en la calidad de agua, aunque no de manera tan significativa como en los ríos que están completamente dentro del ACH.

El análisis temporal (2014 – 2016) reporta mejoras significativas en varios parámetros fisicoquímicos y biológicos que son consecuentes con una tendencia positiva en la calidad del agua de los ríos ubicados dentro de las ACH. En este contexto, las estrategias de conservación y protección implementas en las ACH Antisana y Alto Pita están siendo efectivas en términos de recuperar y mantener la integridad ecológica de las fuentes de agua que abastecen al Distrito Metropolitano de Quito.

El índice de estado trófico TSE indica que todos los ríos evaluados se encuentran en la categoría mesotrófica, es decir, contienen la cantidad necesaria de nutrientes para el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, en Pullurima se evidencia mayor concentración de fósforo total con tendencia a incrementar el valor del TSE, por lo tanto, existe riesgo de eutrofización en este río.

Pullurima presenta los menores puntajes en los índices ICA, TSI, EPT, ABI y ASPT-E, QBR-And e IHF, y las mayores concentraciones de fosfatos, fósforo total, $DBO_5$ y coliformes fecales evidenciando el impacto de la ganadería sobre la calidad del agua y del hábitat fluvial y de vegetación.

Los índices IHF y QBR-And marcan una tendencia de incremento en los ríos Micahuayco, Jatunhuayco Vertedero 2, Mudadero, Pita y Chamilco, localizados dentro de los predios manejados por el FONAG. Además, los resultados son consistentes entre sí, porque establecen una diferencia entre los ríos manejados de los no conservados (control). Por lo tanto, los programas de recuperación de la cobertura vegetal implementados han contribuido significativamente en la restauración de estas áreas que habían sufrido alteraciones significativas por la quema de pajonal y el sobrepastoreo en años previos.

En el monitoreo de macroinvertebrados se identificaron familias únicas, es decir, aquellas que en años previos no habían estado presentes y son: *Gripopterygidae*, *Calamoceratidae* y *Blephariceridae*, al ser sensibles a la contaminación, su presencia evidencia signos de recuperación de la calidad del agua y de los hábitats de macroinvertebrados en los ríos manejados por el FONAG.

El análisis de componentes principales establece una relación inversamente proporcional entre los índices IHF y QBR-And con los fosfatos, fósforo total, coliformes fecales, $DBO_5$ y turbidez. Esto ratifica la efectividad de los índices IHF y QBR-And para evaluar la calidad ambiental del agua.

El índice EPT está relacionado directamente con el ICA, esto confirma la efectividad del uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del

agua. Pero debe ser complementado con el uso de los índices ABI y ASPT-E que permiten evaluar la biodiversidad de macroinvertebrados.

El índice ASPT-E desarrollado para ecosistemas de páramos altoandinos, presenta una ventaja frente a los otros índices porque su valor varía en función del número de familias encontradas permitiendo comparar sitios a diferentes alturas con diversas riquezas regionales y principalmente comparar los resultados obtenidos con diferentes métodos de recolección. Al calcular el cociente de calidad ecológica (CE) a partir del ASPT-E podemos establecer la calidad del agua de los ríos evaluados en comparación a sitios de referencia, es decir, ríos de páramo en estado natural, cuyo valor de ASPT-E sería igual a 6.6.

En los ríos Carihuayco y Pucahuayco, no existen datos de años anteriores pero la información de la presente investigación es de gran utilidad porque sirve como diagnóstico inicial y base para futuros estudios en el ACH Ponce Paluguillo.

# RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con los monitoreos de calidad de agua en los sitios de estudio para poder evaluar el comportamiento de manera temporal y analizar la efectividad de los programas de protección y recuperación implementados por el FONAG en sus Áreas de Conservación Hídrica., los cuales deben continuar y empezar a implementarse en el ACH Ponce Paluguillo.

Para futuros monitoreos de macroinvertebrados se recomienda utilizar los índices EPT y ASPT-E porque proporcionan información útil sobre la calidad del agua, en función del estado ecológico y de la diversidad de macroinvertebrados. Los monitoreos deben ser complementarios a los análisis fisicoquímicos y se deben realizar en dos temporalidades (época seca y lluviosa).

La información recopilada en los monitoreos debe ser almacenada y procesada en una base de datos de libre acceso para futuras investigaciones y para todos los gestores del agua, con la finalidad de comparar y analizar los resultados.

Se recomienda el desarrollo de software o aplicaciones que permitan calcular fácilmente los índices ICA, ABI, ASPT-E y EPT, con el fin de promover el desarrollo de programas de monitoreos participativos y rápidos de calidad de agua.

Se debe continuar con los programas de restauración, protección y conservación implementados por el FONAG, la labor que realizan ayudan a conservar los ecosistemas de páramos altoandinos que cumplen un rol fundamental en el abastecimiento de agua para el DMQ.

## BIBLIOGRAFÍA


Abell, R., & Allan, D. (2002). *Riparian shade and stream temperatures in an agricultural catchment, Michigan, USA. 28*(1), 232-237.

Acosta, R. (2009). *Estudio de la cuenca altoandina del río Cañete (Perú): distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas* [Doctorado, Universitat de Barcelona]. http://www.ub.edu/riosandes/docs/TESIS_RAUL_ACOSTA.pdf

Acosta, R., Hampel, H., González, H., & Mosquera, P. (2018). *Protocolo de Evaluación de la Integridad Ecológica de los Ríos de la Región Austral del Ecuador*. https://www.researchgate.net/publication/321181495_Protocolo_de_Evaluacion_de_la_Integridad_Ecologica_de_los_Rios_de_la_Region_Austral_del_Ecuador

Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. *28*(1), 35-64.

Aizaki, M., Otsuki, A., Fukusima, T., Hosomi, M., & Muraoka, K. (1981). *Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. 21*(1), 1922-2010.

Alberti, M., & Parker, J. D. (1991). Indices of environmental quality: The search for credible measures. *Environmental Impact Assessment Review*, *11*(2), 95-101. https://doi.org/10.1016/0195-9255(91)90026-G

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WPCF) (Eds.). (2005). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (23.ª ed.). https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23nd_edition

Barrenechea, A. (2010). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua.* Organización Panamericana de la Salud. 65 p.

Braccia, A., & Voshell, J. (2006). Benthic Macroinvertebrate Fauna in Small Streams Used by Cattle in the Blue Ridge Mountains, Virginia. *Northeastern naturalist*, *13*(2), 269-286. https://doi.org/10.1656/1092-6194

Brown, R., Mcclelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (2010). *A water quality index: do we dare?* [Doctorado, Universidad de Alejandría]. https://www.academia.edu/2553946/A_WATER_QUALITY_INDEX-_DO_WE_DARE

Carlson, R. E. (1977). *A trophic state index for lakes1*. *22*(2), 361-369. https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361

CEPAL. (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador* (p. 81). https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf

Coronel, L. (2019). *Los caminos del agua. FONAG: Trabajos y aprendizajes* (Vol. 1). FONAG.

Cummins, K. W. (2002). Riparian stream linkage paradigm. *SIL Proceedings, 1922-2010*, *28*(1), 49-58. https://doi.org/10.1080/03680770.2001.11902547

Da Ros, G. (2010). *La contaminación de aguas en Ecuador: Una aproximación económica* (Segunda, Vol. 1). Abya Yala. https://books.google.com.ec/books/about/La_contaminaci%C3%B3n_de_aguas_en_Ecuador.html?id=rPQrAHRxzyYC&redir_esc=y

De la Paz, M. (2012). *Evaluación de la calidad de agua e integridad ecológica de ríos altoandinos manejados por el FONAG.* [Pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2024

Directiva Marco del Agua. (2013). *Directiva 91/271/CEE sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas*. http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/75037/ANEXOS.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología* (Primera). Fondo Miguel Lilo. https://www.academia.edu/29060016/Macroinvertebrados_bent%C3%B3nicos_Sudamericanos._Sistem%C3%A1tica_y_Biolog%C3%ADa

Encalada, A., Suárez, E., Sánchez, M., Arboleda, R., & Schreckinger, J. (2014). *Línea Base de la Integridad Ecológica de los Ecosistemas Acuáticos y Terrestres de la Subcuenca del Río Jatunhuaycu* (p. 29). FONAG.

Espinosa, R., Guarderas, P., & Jacobsen, D. (2010). *Fauna acuática en la Reserva Ecológica Antisana*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. https://www.academia.edu/1125138/Fauna_acu%C3%A1tica_en_la_Reserva_Ecol%C3%B3gica_Antisana

FAO. (1993). *Enseñanzas de los cincuenta últimos años. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura.* FAO. http://www.fao.org/docrep/x4400s/x4400s00.htm

Fausch, K. D., Power, M. E., & Murakami, M. (2002). *Linkages between stream and forest food webs: Shigeru Nakano's legacy for ecology in Japan*. *17*(9), 429-434.

Fernández, N., & Solano, F. (2005). *Índices de Calidad de Agua e Índices de Contaminación* [Maestría]. Universidad de Pamplona.

FONAG. (2017). *Predios e instalaciones de la estación científica agua y páramos*. Agua Quito. https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/4-INSTALACIONES-DE-LA-ESTACION-CIENTIFICA.pdf

FONAG. (2018a). *Ecología de ríos en el páramo: Investigar el presente para entender el futuro*. http://www.fonag.org.ec/web/ecologia-de-rios-en-el-paramo-investigar-el-presente-para-entender-el-futuro/

FONAG. (2018b). *Programa de Conservación de Áreas Hídricas Sostenibles*. http://www.fonag.org.ec/portalSIAF/programa-de-conservacion-de-areas-hidricas-sostenibles

Franco, D. P. M., & Manzano, J. Q. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. 9 p.

Galárraga, R. H. (2010). *Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador* (p. 120). Escuela Politécnica Nacional.

González, L., & Lozano, L. (2004). *Bioindicadores como herramienta de evaluación de la calidad ambiental en la parte alta de la microcuenca las delicias*. Umbral Científico, 5, 73-82.

González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquía, Colombia*. *16*(1), 97-108.

Herbas, R., Rivero, F., & González, O. (2006). *Indicadores biológicos de calidad del agua* [Maestría]. Universidad Mayor de San Simón.

Hofstede, R. (2010). *Los servicios del ecosistema páramo: una visión desde la evaluación de ecosistemas del milenio*. *1*(5), 14.

Isch, E. (2009). *La gestión de los recursos hídricos en el Ecuador*. *6*(2), 33-48.

Jacobsen, D., & Encalada, A. (1998). *The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season.* Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie, *142*, 53-70.

Leiva, J. (2004). *Evaluación de la calidad de agua del Rio Yeguare mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos* [Pregrado]. Universidad Zamorano.

Llambí, L. D., Soto-W., A., Célleri, R., & Bièvre, B. de (Eds.). (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino* (Vol. 1). Proyecto Páramo Andino.

Maldonado, G., & De Bievre, B. (2011). *PARAMUNDI, 2do Congreso Mundial de Páramos. Memorias.* CONDESAN, Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Margalef, R., Planas, D., Armengol, J., Vidal, A., Prat, N., Guiset, A., Toja, J., & Estrada, M. (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Ministerio de Obras Públicas (España). https://digital.csic.es/handle/10261/166602

Mena, P., & Hofstede, R. (2006). *Los páramos ecuatorianos*. *11*(2), 91-109.

Merrit, R., & Cummins, K. (1996). *An introduction to the Aquatic insects of North America*. *21*(4), 862.

Morales, J., & Estévez, J. (2006). *EL PÁRAMO: ¿ECOSISTEMA EN VÍA DE EXTINCIÓN? 1*(22), 1-13.

Muñoz, E., Mendoza, G., & Valdovinos, C. (2001). Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lenticos de Chile central: macroinvertebrados bentónicos. *Gayana (Concepción)*, *65*(2), 173-180. https://doi.org/10.4067/S0717-65382001000200009

Ocasio, F. (2008). *Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del Río Piedras* [Maestría]. Universidad Metropolitana San Juan Puerto Rico.

Oscoz, J. (2009). *Macro-invertebrados de la cuenca del Ebro: Guía de campo*. Confederación Hidrográfica del Ebro.

Palma, A., Figueroa, R., & Ruiz, V. H. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana (Concepción)*, *73*(1), 57-63. https://doi.org/10.4067/S0717-65382009000100009

Pardo, I., Alvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., BONADA, N., Alba-Tercedor, J., Jaimez-Cuéllar, P., Moya, G., Prat, N., Robles, S., Suárez Alonso, M., Toro, M., & Vidal-Abarca, M. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnética*, *21*(2), 115-133.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2008). *Geo Ecuador 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente* (p. 105). https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf

Prat, N., & Rieradevall, M. (1998). Criterios de evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los macroinvertebrados bentónicos. *Actualidades Biológicas*, *20*(69), 137-147.

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (2005). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación*. *1*(3), 135-153.

Ríos, B. (2008). *Comunidades de macroinvertebrados en un río altoandino: importancia del microhábitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposición.* [Doctorado, Universitat de Barcelona]. http://www.ub.edu/riosandes/docs/TESIS_BLANCA_RIOS.pdf

Ríos, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). *The Andean Biotic Index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation*. *62*(2), 249-273.

Roldán, G. (1999). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia* (Primera). COLCIENCIAS.

Roldán, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica*. *40*(155), 254-274. http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335

Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda, Vol. 15). Universidad de Antioquía.

Roldán Pérez, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*.

SENAGUA. (2016). *Estrategia nacional de calidad del agua* (p. 97).

Silveira, M., Queiroz, J., & Boeira, R. (2004). *Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos*. *19*(3), 23-34.

Soria, I. (2016). *Evaluación de la Calidad Ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la Captación Jatunhuayco (EPMAPS) utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua.* [Pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16736

Soto, J., & Reina, E. (2012). *Estudio técnico: DNCA-DHN-12-01; Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del río Coca.* Secretaria Nacional del Agua.

Terneus-Jácome, E., & Yánez, P. (2018). *Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador*. *27*(1), 36-50. https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03

Torralba, A., & Ocharan, F. J. (2007). Comparación del muestreo de macroinvertebrados bentónicos fluviales con muestreador surber y con red

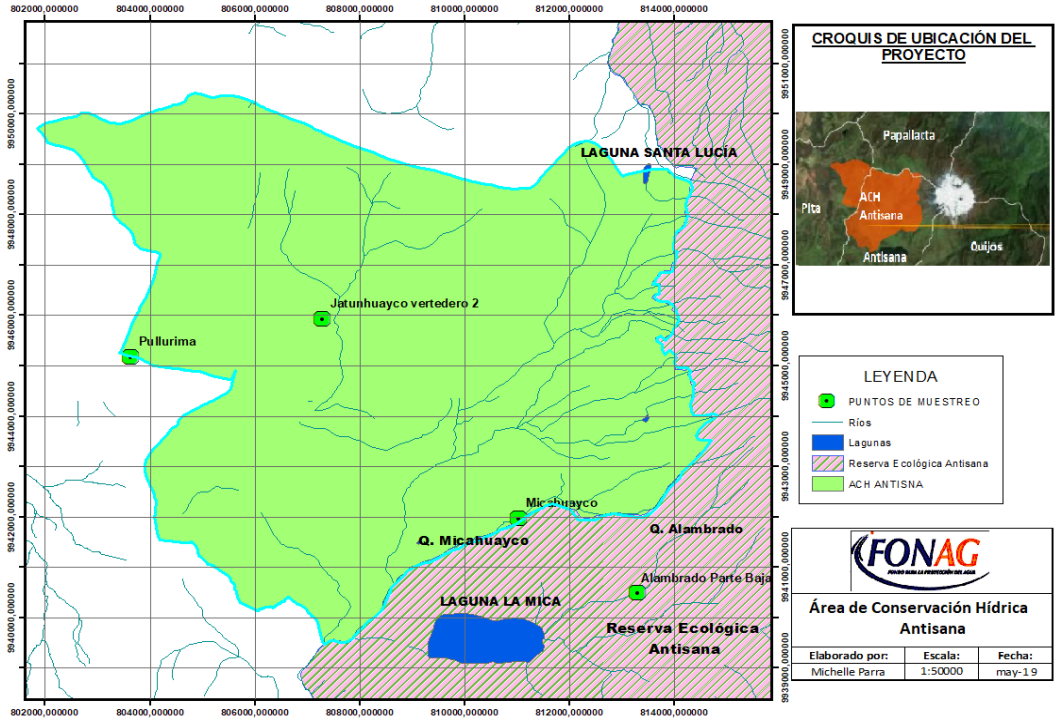
manual en ríos de Aragón (NE Península Ibérica). *Limnética*, *26*(1), 13–24. https://doi.org/10.23818/limn.26.02

TULSMA (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.* LIBRO VI. ANEXO 1. http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf

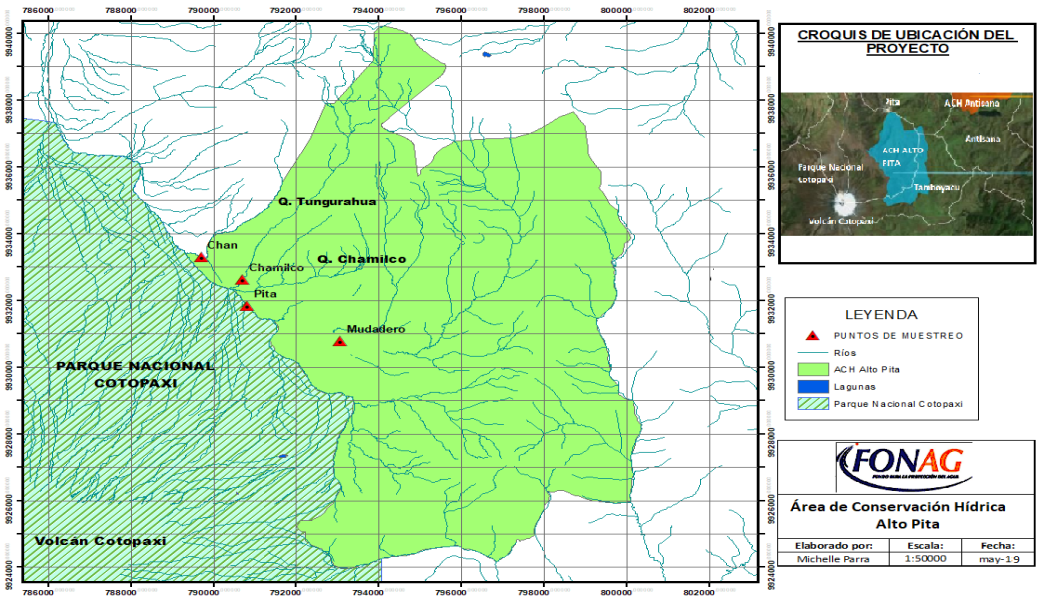
Yánez, S. (2018). *Evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del Lago San Pablo, provincia de Imbabura (año 2017).* [Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15142

Yogendra, K., & Puttaiah, E. (2008). *Determination of Water Quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga Town, Karnataka. 23*(1), 105-124.

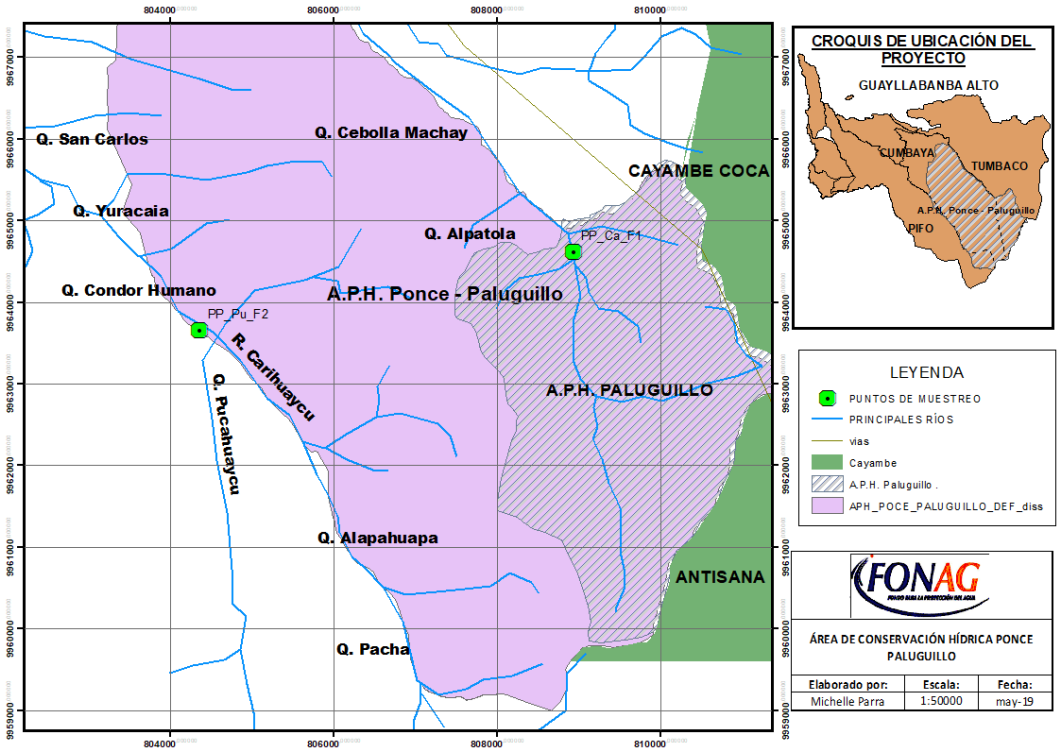
# ANEXO 1




**Mapa de los puntos de muestreo del ACH Antisana**




**Mapa de los puntos de muestreo del ACH Alto Pita**




**Mapa de los puntos de muestreo del ACH Ponce Paluguillo**

## ANEXO 2

### Descripción de parámetros a evaluar en cada bloque para el índice IHF

| Bloque | Descripción |
|---|---|
| **Inclusión de rápidos y limitación de sustrato** | Se mide el grado de esfuerzo para remover los bloques o piedras durante el monitoreo de macroinvertebrados. Si están poco fijados y se remueven fácilmente la inclusión será de 0-30% y tendrá el mayor puntaje.<br>Por otra parte, la limitación del sustrato será extrema cuando se observan grandes bloques o roca madre o cuando el lecho del río está cubierto por materia fino como arena, ya que limitan la colonización de macroinvertebrados. |
| **Frecuencia de rápidos** | La presencia de rápidos favorece la colonización de macroinvertebrados, por esta razón, mientras más frecuentes sean los rápidos mayor puntaje tendrá el tramo de río evaluado. Por otra parte, si la presencia de rápidos es sólo somera o existe flujo laminar (velocidad constante) el puntaje será menor. |
| **Composición del sustrato** | Evalúa de forma conjunta el efecto de los diferentes tipos de sustratos minerales (bloques, piedras, grava, arena, limo, etc.) presentes en el transecto del río evaluado. |
| **Regímenes de velocidad y profundidad** | Son hábitats someros cuando la columna de agua no supera los 50 cm y son lentos cuando la velocidad es inferior a 0.3 m/s (generalmente aquellos que son pozas o de flujo laminar). Cuando se presenten las cuatro combinaciones (lento profundo, lento somero, rápido profundo y/o rápido somero) se colocará el mayor puntaje. |
| **Sombra en el cauce** | Aquellos ríos que presentan sombra totalmente impiden el ingreso de la luz solar favoreciendo a la eutrofización; mientras que los ríos totalmente expuestos sufren cambios altos de temperatura que limita el hábitat de macroinvertebrados |
| **Elementos de heterogeneidad** | Se valoró la presencia de elementos en el cauce del río que favorecen la presencia de macroinvertebrados, tales como hojarasca, raíces expuestas, troncos, ramas y diques naturales formados por piedras y bloques. |
| **Cobertura de vegetación acuática** | Se observó la presencia de algas filamentosas, fanerógamas acuáticas, musgos y pecton en las piedras, orillas y/o cauce central. En caso de ausencia de estas plantas el puntaje será equivalente a 0 |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Acosta et al. (2014)

## Hoja de campo Calidad del Hábitat Fluvial (IHF) (Pardo et al, 2002)

| APARTADOS | PUNTUACIÓN |
|---|---|
| **1. Inclusión y limitación de substrato** | |
| 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 mayor a 60% | **3** |
| Sólo substrato fino (arena y/o limo) | **1** |
| Sólo grandes bloques | **0** |
| **TOTAL (Escoger una categoría)** | |
| **2. Frecuencia de rápidos** | |
| Alta frecuencia de rápidos | **10** |
| Escasa frecuencia de rápidos | **8** |
| Ocurrencia ocasional de rápidos | **6** |
| Constancia de flujo laminar o rápidos someros | **4** |
| Sólo grandes bloques | **0** |
| **TOTAL (Escoger una categoría)** | |
| **3. Composición del substrato** | |

| Unid. Muest. | Bloques y piedras | Cantos y gravas | Arena | Arcilla y Limo |
|---|---|---|---|---|
| **1** | | | | |
| **2** | | | | |
| **3** | | | | |
| **4** | | | | |
| **5** | | | | |
| **6** | | | | |
| **7** | | | | |
| **8** | | | | |
| **Total de Observaciones** | | | | |

| | |
|---|---|
| **% Bloques y piedras** | |
| < o = 2 Observaciones | **2** |
| > 2 Observaciones | **5** |
| **% Cantos y gravas** | |
| < o = 2 Observaciones | **2** |
| > 2 Observaciones | **5** |
| **% Arena** | |
| < o = 2 Observaciones | **2** |
| > 2 Observaciones | **5** |
| **% Arcilla y limo** | |
| < o = 2 Observaciones | **2** |
| > 2 Observaciones | **5** |
| **TOTAL (Sumar categorías)** | |
| **4. Regímenes de velocidad/profundidad** | |
| Somero: < 0.5 m<br>Lento: < 0.3m/s | |

| | |
|---|---|
| 4 categorías: lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero. | **10** |
| Sólo 3 de las 4 categorías | **8** |
| Sólo 2 de las 4 categorías | **6** |
| Sólo 1 de las 4 categorías | **4** |
| **TOTAL (Escoger una categoría)** | |
| **5. Sombra en el cauce** | |
| Sombreado con ventanas | **10** |
| Totalmente en sombra | **7** |
| Grandes claros | **5** |
| Expuestos | **3** |
| **TOTAL (Escoger una categoría)** | |
| **6. Elementos de heterogeneidad** | |
| Hojarasca (10-75%)<br>Hojarasca <10% o >75% | **4**<br>**2** |
| Presencia de troncos y ramas | **2** |
| Raíces expuestas | **2** |
| Diques naturales | **2** |
| Si hay ausencia de alguna categoría | **0** |
| **TOTAL (Sumar categorías)** | |
| **7. Cobertura de vegetación acuática** | |
| Plocon + briófitos 10-50%<br>Plocon + briófitos <10% o >50% | **10**<br>**5** |
| Pecton 10-50%<br>Pecton <10% o >50% | **10**<br>**5** |
| Fanerógamas 10-50%<br>Fanerógamas <10% o >50% | **10**<br>**5** |
| Si hay ausencia de alguna categoría | **0** |
| **TOTAL (Sumar categorías)** | |
| **PUNTUACIÓN FINAL (Suma de los puntos de cada apartado)** | |

**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Acosta et al. (2014)

## ANEXO 3

### Descripción de los componentes a considerar en la evaluación del QBR-And

| COMPONENTE | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| **Grado de cubierta de la ribera** | Se evaluó el grado de cobertura vegetal (únicamente especies arbóreas y arbustivas independientemente si son nativas o introducidas) presente en los márgenes del río. No se consideraron especies anuales como hierbas.<br>Además, se evaluó la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente |
| **Estructura de la cubierta de la ribera** | Se evaluó la presencia de especies arbóreas y/o arbustivas y se estimó un porcentaje del recubrimiento de este tipo de especies en cada margen del río para asignar una puntuación |
| **Calidad de la cubierta de ribera** | Se determinó si las especies arbóreas presentes en cada margen del río eran nativas o introducidas. En ríos andinos los géneros introducidos más frecuentes en bosques son: *Eucalyptus, Pinus* y *Salix;* mientras que, para vegetación en páramos la presencia de *Lachemilla, Paspalum, Rumex* y *Cotula australis* son indicativos de alteración en la vegetación de ribera del páramo. |
| **Grado de naturalidad del canal fluvial** | Se asigna un solo puntaje para ambos márgenes del río, evaluando si el canal es natural o si ha sido modificado. |

**Elaborado por:** La autora (2019)

### Hoja de campo para la evaluación de la Calidad de la Vegetación de Ribera Andina (QBR-And) para comunidades de pajonales de páramos y punas (Bonada et al., 2002)

| APARTADOS | PUNTUACIÓN |
|---|---|
| **1. Grado de la cubierta de la zona de ribera** | |
| >80% de cubierta vegetal de la ribera (gramíneas y/o matorral y/o almohadillas) | **25** |
| 50-80% de cubierta vegetal de la ribera | **10** |
| 10-50% de cubierta vegetal de la ribera | **5** |
| <10% de cubierta vegetal de la ribera | **0** |
| Si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es total | **+10** |
| Si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es superior al 50% | **+5** |
| Si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es entre el 25 y 50% | **-5** |
| Si se presentan evidencias de quema de pajona de gramíneas de ribera <50% | **-5** |
| Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera >50% | **-10** |
| **TOTAL (Puntuación máxima 25 puntos no puede ser negativa)** | |

| | |
|---|---|
| **2. Estructura de la cubierta** | |
| Al no poder definir una estructura vegetal adecuada que repercuta en la dinámica fluvial, se excluye este apartado de la evaluación. | |
| **TOTAL (Puntuación máxima 25 puntos no puede ser negativa)** | |
| **3. Calidad de la cubierta** | |
| Todas las especies vegetales de ribera autóctonas (gramíneas, matorral o almohadillas) | **25** |
| Ribera con <25% de la cobertura con especies introducidas (*Eucalyptus spp, Pinus spp*) o especies arbustivas secundarias (por efecto de sobrepastoreo) | **10** |
| Ribera entre 25-80% de la cobertura con especies introducidas o con arbustivas secundarias | **5** |
| Ribera con >80% de la cobertura con especies introducidas o con arbustivas secundarias | **0** |
| **TOTAL (Puntuación máxima 25 puntos no puede ser negativa)** | |
| **4. Grado de naturalidad del canal fluvial** | |
| El canal del río no ha estado 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** |
| Río canalizado en la totalidad del tramo | **0** |
| Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río | **-10** |
| Si existe alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río | **-10** |
| Si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes | **-5** |
| Si hay un basurero permanente en el tramo estudiado | **-10** |
| **TOTAL (Puntuación máxima 25 puntos no puede ser negativa)** | |
| **PUNTUACIÓN FINAL (Suma de los puntos de cada apartado)** | |

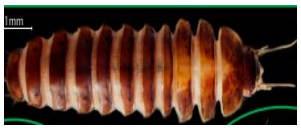
**Elaborado por:** La autora (2019)
**Fuente:** Acosta et al. (2008)

## ANEXO 4

## Macroinvertebrados presentes en los sitios de estudio

| Familia | Descripción | Imagen |
|---|---|---|
| | **Orden: *Plecoptera*** | |
| ***Gripopterygidae*** | Cuerpo alargado y delgado. Labio con las glosas y paraglosas de tamaño similar.<br><br>Tergos y esternos claramente separados en los 9 primeros segmentos abdominales. Tamaño de 4 - 25 mm de longitud. | |
| | **Orden: *Ephemeroptera*** | |
| ***Baetidae*** | Cabeza y piezas bucales dirigidas hacia abajo con antenas largas y ojos simples laterales ubicados posteriores a la sutura epicraneal. | |
| | **Orden: *Trichoptera*** | |
| ***Calamoceratidae*** | Cuerpo cilíndrico con pronoto prolongado anterolateralmente en una proyección puntiaguda.<br><br>Las larvas construyen estuches tubulares con piedras o con hojas secas en forma de "bolsa de<br><br>dormir" | |
| ***Hydrobiosidae*** | La tibia, tarso y uña se cierran a modo de una pinza gruesa para la captura de presas. Pseudopatas anales alargadas y libres. | |
| ***Glososomatidae*** | Las larvas son de cuerpo ancho y corto y construyen estuches de piedras, en forma de caparazón de tortuga, con orifcios anterior y posteriormente. | |

| | | |
|---|---|---|
| **Orden: *Turbellaria*** | | |
| ***Planariidae*** | Cabeza con borde frontal de forma variada, con o sin tentáculos y con dos o más ojos. Tamaño: 5-15 mm. | |
| **Orden: *Oligochaeta*** | | |
| ***Tubificidae*** | Organismos desde muy pequeños hasta el tamaño de una lombriz de tierra con cuerpo cilíndrico y segmentado con presencia de setas. | |
| **Orden: *Amphipoda*** | | |
| ***Hyallelidae*** | Cuerpo comprimido, de 2,5 a 20 mm desde el extremo de la cabeza hasta el extremo del último segmento antes de la cola. Cada segmento del tórax lleva un par de apéndices que comprenden 7 pares de pereiópodos. De color anaranjado. | |
| **Orden: *Hirudinea*** | | |
| ***Glossiphoniidae*** | Tienen una longitud que varía desde 5 mm a 45 cm con 34 segmentos. Cuerpo aplanado y posee una ventosa anterior que rodea la boca y otra posterior o caudal, las cuales utiliza para fijarse fuertemente al sustrato. | |
| **Orden: *Bivalvia*** | | |
| ***Sphaeriidae*** | Presentan conchilla frágil de menos de 1,2 cm, con uno o dos dientes cardinales en la valva derecha e izquierda, superficie externa de la conchilla lisa. | |
| **Orden: *Coleoptera*** | | |
| ***Elmidae*** | Forma del cuerpo variable (cilíndrica, subcilíndrica o aplanada) con branquias, un par de ganchos y patas de cuatro segmentos. | |

| | | |
|---|---|---|
| ***Scirtidae*** | Las larvas tienen antenas largas multisegmentadas y el cuerpo, alargado u ovalado y ligeramente aplanado dorsoventralmente, con setas gruesas y cortas. Abdomen con nueve segmentos. |  |
| | **Orden: *Diptera*** | |
| ***Blephariceridae*** | Larvas de forma subcilíndrica con la parte ventral aplanada, segmentación del cuerpo muy evidente.<br><br>Presentan ventosas ventrales en cada una de las seis regiones para sujetarse al sustrato. | |
| ***Ceratopongonidae*** | Larvas con cabeza bien esclerotizada, evidente y expuesta. Segmentos torácicos y abdominales bien diferenciados. | |
| ***Simuliidae*** | Larvas con cuerpo cilíndrico y ligeramente curvado, con cabeza bien diferenciada y esclerotizada, el abdomen presenta segmentos que constituyen un órgano de fijación. | |

## ANEXO 5

## CÁLCULOS DEL ICA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

| | Río Mudadero | | | | Río Pita | | | | Río Chamilco | | | | Río Chan | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** |
| **Coliformes fecales (NMP/100 ml)** | 4.0 | 89.1 | 0.2 | 13.4 | 76.0 | 40.2 | 0.2 | 6.0 | 2.0 | 92.0 | 0.2 | 13.8 | 2.0 | 92.0 | 0.2 | 13.8 |
| **pH** | 7.3 | 92.0 | 0.1 | 11.0 | 6.5 | 72.0 | 0.1 | 8.6 | 8.3 | 75.0 | 0.1 | 9.0 | 8.1 | 79.0 | 0.1 | 9.5 |
| **DBO5 (mg/L)** | 1.9 | 77.9 | 0.1 | 7.8 | 4.6 | 42.8 | 0.1 | 4.3 | 0.5 | 99.0 | 0.1 | 9.9 | 1.1 | 99.0 | 0.1 | 9.9 |
| **Nitratos (mg/L)** | 0.3 | 98.0 | 0.1 | 9.8 | 0.2 | 99.0 | 0.1 | 9.9 | 0.3 | 97.0 | 0.1 | 9.7 | 0.6 | 96.0 | 0.1 | 9.6 |
| **Fosfatos (mg/L)** | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 |
| **Var. Temp (°C)** | 0.7 | 89.0 | 0.1 | 8.9 | 0.9 | 86.0 | 0.1 | 8.6 | 0.8 | 87.0 | 0.1 | 8.7 | 1.1 | 82.0 | 0.1 | 8.2 |
| **Turbidez NTU** | 5.0 | 89.0 | 0.1 | 7.1 | 2.5 | 95.0 | 0.1 | 7.6 | 2.3 | 94.0 | 0.1 | 7.5 | 3.8 | 91.0 | 0.1 | 7.3 |
| **SDT (mg/L)** | 74.0 | 85.0 | 0.1 | 6.8 | 70.4 | 83.0 | 0.1 | 6.6 | 83.3 | 87.0 | 0.1 | 7.0 | 74.0 | 85.0 | 0.1 | 6.8 |
| **OD (%)** | 83.0 | 85.0 | 0.2 | 14.5 | 75.2 | 77.0 | 0.2 | 13.1 | 66.0 | 68.0 | 0.2 | 11.6 | 55.0 | 50.0 | 0.2 | 8.5 |
| **TOTAL** | | **89.13** | | | | **74.66** | | | | **87.01** | | | | **83.43** | | |
| **CRITERIO** | **Buena - Aceptable** | | | | **Buena - Leve** | | | | **Buena - Aceptable** | | | | **Buena - Aceptable** | | | |

**Nota:** En la columna *Valor* se indica los valores obtenidos en el análisis de laboratorio de las muestras tomadas en los ríos, así como también de datos tomados *in situ* En la columna *Sub(i)i* se colocan los valores que se obtienen al aplicar los criterios establecidos para cada uno de los parámetros del ICA (NSF) y correlacionarlos con las tablas respectivas (NSF, 2006 y SNET, 2018). *Wi* representa el peso asignado para cada parámetro. En la columna *Final* se coloca el resultado de la multiplicación de S*ub(i)*Wi.* Finalmente, en el total se coloca la suma de los valores finales obtenidos de cada parámetro.

**Elaborado por:** La autora (2019)

| | Jatunhuayco V2 | | | | Pullurima | | | | Micahuayco | | | | Alambrado Parte Baja | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** |
| **Coliformes fecales** | 1.0 | 96.0 | 0.2 | 14.4 | 40.0 | 47.8 | 0.2 | 7.2 | 1.0 | 96.0 | 0.2 | 14.4 | 1.0 | 96.0 | 0.2 | 14.4 |
| **pH** | 6.8 | 80.0 | 0.1 | 9.6 | 6.0 | 55.0 | 0.1 | 6.6 | 8.0 | 84.0 | 0.1 | 10.1 | 7.4 | 93.0 | 0.1 | 11.2 |
| **DBO5** | 1.8 | 80.8 | 0.1 | 8.1 | 6.5 | 34.1 | 0.1 | 3.4 | 1.4 | 95.7 | 0.1 | 9.6 | 1.7 | 85.7 | 0.1 | 8.6 |
| **Nitratos** | 0.2 | 99.0 | 0.1 | 9.9 | 0.7 | 95.0 | 0.1 | 9.5 | 0.2 | 99.0 | 0.1 | 9.9 | 0.2 | 99.0 | 0.1 | 9.9 |
| **Fosfatos** | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 | 0.5 | 48.4 | 0.1 | 4.8 | 0.3 | 63.6 | 0.1 | 6.4 | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 |
| **Var. Temp** | 1.1 | 82.0 | 0.1 | 8.2 | 2.8 | 68.0 | 0.1 | 6.8 | 2.0 | 78.0 | 0.1 | 7.8 | 3.7 | 58.0 | 0.1 | 5.8 |
| **Turbidez** | 6.0 | 87.0 | 0.1 | 7.0 | 8.3 | 74.0 | 0.1 | 5.9 | 4.0 | 89.0 | 0.1 | 15.0 | 5.0 | 89.0 | 0.1 | 7.1 |
| **SDT** | 115.0 | 82.0 | 0.1 | 6.6 | 167.0 | 77.0 | 0.1 | 6.2 | 92.0 | 86.0 | 0.1 | 6.9 | 75.0 | 87.0 | 0.1 | 7.0 |
| **OD** | 64.0 | 66.0 | 0.2 | 11.2 | 46.3 | 35.0 | 0.2 | 6.0 | 74.0 | 76.0 | 0.2 | 12.9 | 61.0 | 63.0 | 0.2 | 10.7 |
| **TOTAL** | | **84.79** | | | | **56.36** | | | | **92.91** | | | | **84.49** | | |
| **CRITERIO** | **Buena - Aceptable** | | | | **Regular - Contaminada** | | | | **Excelente - Aceptable** | | | | **Buena - Aceptable** | | | |

**Nota:** En la columna *Valor* se indica los valores obtenidos en el análisis de laboratorio de las muestras tomadas en los ríos, así como también de datos tomados *in situ* En la columna *Sub(i)i* se colocan los valores que se obtienen al aplicar los criterios establecidos para cada uno de los parámetros del ICA (NSF) y correlacionarlos con las tablas respectivas (NSF, 2006 y SNET, 2018). *Wi* representa el peso asignado para cada parámetro. En la columna *Final* se coloca el resultado de la multiplicación de S*ub(i)*Wi.* Finalmente, en el total se coloca la suma de los valores finales obtenidos de cada parámetro.
**Elaborado por:** La autora (2019)

| | Río Carihuayco | | | | Río Pucahuayco | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** | **Valor** | **Sub(i)** | **Wi** | **Final** |
| **Coliformes fecales** | 11.0 | 67.8 | 0.2 | 10.2 | 24.0 | 54.9 | 0.2 | 8.2 |
| **pH** | 7.7 | 88.0 | 0.1 | 10.6 | 8.3 | 75.0 | 0.1 | 9.0 |
| **DBO5** | 0.6 | 99.0 | 0.1 | 9.9 | 0.4 | 99.0 | 0.1 | 9.9 |
| **Nitratos** | 0.2 | 99.0 | 0.1 | 9.9 | 0.2 | 99.0 | 0.1 | 9.9 |
| **Fosfatos** | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 | 0.1 | 98.7 | 0.1 | 9.9 |
| **Var. Temp** | 2.4 | 72.0 | 0.1 | 7.2 | 1.6 | 80.0 | 0.1 | 8.0 |
| **Turbidez** | 2.4 | 95.0 | 0.1 | 7.6 | 4.0 | 92.0 | 0.1 | 7.4 |
| **SDT** | 75.0 | 87.0 | 0.1 | 7.0 | 58.0 | 88.0 | 0.1 | 7.0 |
| **OD** | 55.0 | 50.0 | 0.2 | 8.5 | 60.0 | 62.0 | 0.2 | 10.5 |
| **TOTAL** | | **80.66** | | | | **79.85** | | |
| **CRITERIO** | **Buena - Aceptable** | | | | **Buena - Leve** | | | |

**Nota:** En la columna *Valor* se indica los valores obtenidos en el análisis de laboratorio de las muestras tomadas en los ríos, así como también de datos tomados *in situ*
En la columna *Sub(i)i* se colocan los valores que se obtienen al aplicar los criterios establecidos para cada uno de los parámetros del ICA (NSF) y correlacionarlos con las tablas respectivas (NSF, 2006 y SNET, 2018). *Wi* representa el peso asignado para cada parámetro.
En la columna *Final* se coloca el resultado de la multiplicación de S*ub(i)*Wi.* Finalmente, en el total se coloca la suma de los valores finales obtenidos de cada parámetro.
**Elaborado por:** La autora (2019).