ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO JATUNHUAYCO EN LA ZONA ASOCIADA A LA CAPTACIÓN JATUNHUAYCO (EPMAPS) UTILIZANDO COMUNIDADES DE MACROINVERTABRADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

ISMAEL FABIAN SORIA REINOSO
ismafs21@gmail.com

DIRECTOR: ING. NATHALIA VALENCIA
nathalia.valencia@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2016

DECLARACIÓN

Yo Ismael Fabián Soria Reinoso, declaro que el presente trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

ISMAEL FABIAN SORIA REINOSO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ismael Fabián Soria Reinoso, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Nathalia Valencia

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por las bendiciones recibidas, que por su gracia me dio fuerza y conocimiento para culminar esta etapa y poder caminar bajo su protección y cuidado día a día.

A mis padres, por todo el esfuerzo y sacrificio realizado, gracias infinitas por su amor, apoyo y comprensión que me han brindado siempre; por ayudarme a ser mejor a pesar de las adversidades, por enseñarme que el verdadero amor si existe. A mi hermana, a quien admiro por su alegría y fe inquebrantables, por tu paciencia, consejos y por mostrarme que el cielo es el límite. A mis abuelitos, que me han transmitido el valor de la humildad y fe. A mis tíos y primos, por su amistad y apoyo, en especial a Gladys por estar pendiente de toda la familia y a Josué por la convivencia de varios años.

Un agradecimiento especial a la Ing. Nathalia Valencia, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto de investigación, por el apoyo y conocimiento impartido. Mi gratitud al Biólogo Vladimir Carvajal, por su valiosa aportación, orientación y paciencia hacia mi persona.

A Katherine, por ser mi compañera y amiga, quien me ha demostrado su apoyo y amor en todo momento. A todos mis amigos y compañeros con quienes hemos compartido la vida universitaria (LDVS), de manera particular a Juan Luis, por el esfuerzo constante en el trabajo de campo de este proyecto y a todas las personas que colaboraron en la difícil tarea del levantamiento de información.

Gracias !

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, Fabián y Lourdes, pilares fundamentales de mi vida, quienes han sido ejemplo de amor, sacrificio y humildad. Y a mi hermana Nicole, por ser mi apoyo incondicional de todos los días. Los amo demasiado.

A mis abuelitos Papá Miguel, Mamá Enma, y Mamá Anita, con quienes tengo la dicha de compartir su alegría. A Papá Pancho, que ha sido el mayor ejemplo de sabiduría y maestro durante toda mi vida, que me cuida desde el cielo.

CONTENIDO

DECLARACIÓN II
CERTIFICACIÓN III
AGRADECIMIENTOS IV
DEDICATORIA V
CONTENIDO VI
INDICE DE TABLAS X
INDICE DE GRÁFICOS XI
INDICE DE FOTOGRAFÍAS XII
INDICE DE MAPAS XIII
INDICE DE FIGURAS XIV
RESUMEN XV
ABSTRACT XVI
PRESENTACIÓN XVII
CAPÍTULO 1 1
1. ASPECTOS GENERALES 1
1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. OBJETIVOS 2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL 2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
1.3. ALCANCE 3
1.4. JUSTIFICACIÓN 4
CAPÍTULO 2 6
2. DEFINICIONES GENERALES 6
2.1. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN LOS PÁRAMOS 7
2.1.1. LOS PÁRAMOS ANDINOS DEL ECUADOR 8
2.1.2. EL RÍO COMO ECOSISTEMA 10
2.1.3. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE RÍOS ALTOANDINOS TROPICALES 14
2.2. MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA 17

2.2.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA 17
2.2.2. USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES.....19
2.2.3. SISTEMAS DE BIOINDICACIÓN 25
2.3. CALIDAD ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS LÓTICOS 28
2.3.1. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE RÍOS ALTOANDINOS. 29
CAPÍTULO 3 36
3. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....36
3.1. UBICACIÓN.....36
3.2. HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL.....37
3.3. CLIMATOLOGÍA.....38
3.3.1. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS 39
3.4. GEOLOGÍA.....40
3.5. BIODIVERSIDAD 41
3.5.1. FLORA.....41
3.5.2. FAUNA.....43
3.5.3. ZONIFICACIÓN DE LA MICROCUENCA JATUNHUAYCO 43
CAPÍTULO 4 44
4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 44
4.1. METODOLOGÍA DE MONITOREO 45
4.1.1. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS MUESTREO 46
4.1.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO 49
CAPÍTULO 5 60
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 60
5.1. COMPOSICIÓN DE LA FAUNA DE MACROINVERTEBRADOS 61
5.1.1. ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS Y RIQUEZA DE ESPECIES 62
5.1.2. DIVERSIDAD.....67
5.1.3. CÁLCULO DEL ÍNDICE BIÓTICO ANDINO (ABI) 69
5.2. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS Y FÍSICO - QUÍMICAS DEL RÍO JATUNHUAYCO ALREDEDOR DE LA CAPTACIÓN.....72
5.2.1. CALIDAD DEL HÁBITAT FLUVIAL.....72

5.2.2. CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA ANDINA QBR-And 74
5.2.3. CALIDAD ECOLÓGICA DE RÍOS ANDINOS (ECOSTRIAND) 77
5.2.4. VARIABLES FÍSICO – QUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA.....78
5.3. DISCUSIÓN.....83
CAPÍTULO 6 90
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....90
6.1. CONCLUSIONES.....90
6.2. RECOMENDACIONES 93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94
ANEXO N° 1 107
CONCEPTO DE RÍO CONTINUO.....107
ANEXO N° 2 109
DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN RÍOS ALTOANDINOS DEL ECUADOR 109
ANEXO N° 3 111
PUNTUACIONES DEL ANDEAN BIOTIC INDEX (ABI) – PROTOCOLO CERA 111
ANEXO N° 4 113
PROTOCOLO DE CONDICIONES DE REFERENCIA EN RÍOS ANDINOS 113
ANEXO N° 5 116
ÍNDICE DE HÁBITAT FLUVIAL (IHF) - PROTOCOLO CERA.....116
ANEXO N° 6 118
ÍNDICE DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA ANDINA 118
ANEXO N° 7 120
HOJA DE CAMPO – PROYECTO PIMI 14-06 120
ANEXO N° 8 122
GRUPOS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN EL RÍO JATUNHUAYCO EN CADA PUNTO DE MUESTREO 122
ANEXO N° 9 124
SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PUNTOS ANALIZADOS ALREDEDOR DE LA CAPTACIÓN 124
ANEXO N° 10 126

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DEL RÍO JATUNHUAYCO ALREDEDOR DE LA CAPTACIÓN 126
ANEXO N° 11 128
PRINCIPALES GRUPOS DE MACROINVERTEBRADOS RECOLECTADOS EN EL RÍO JATUNHUAYCO. INDENTIFICACIÓN Y GENERALIDADES 128
ANEXO N° 12 137
ANEXO FOTOGRÁFICO 137

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de páramos del Ecuador 9
Tabla 2.2 Actividades antrópicas y efectos negativos en un sistema fluvial 13
Tabla 2.3 Organismos utilizados como indicadores de la calidad del agua 18
Tabla 2.4 Principales grupos de macroinvertebrados de ecosistemas fluviales 20
Tabla 2.5 Criterios de valoración de Estado Ecológico utilizando el ABI 31
Tabla 2.6 Rangos de calificación según el Índice de Hábitat Fluvial (IHF) 32
Tabla 2.7 Valoración de calidad de la vegetación de ribera (índice QBR-And) 34
Tabla 2.8 Estado Ecológico según el índice ABI y QBR-And (ECOSTRIAND) 35
Tabla 3.1 Porcentaje de cobertura vegetal de la microcuenca Jatunhuayco 41
Tabla 4.1 Georeferenciación de los puntos de muestreo y Captación Jatunhuayco 48
Tabla 4.2 Técnicas de muestreo de calidad del agua 53
Tabla 4.3 Parámetros físico químicos de calidad del agua y métodos de análisis 54
Tabla 5.1 Contribución de los grupos taxonómicos de insectos y no insectos 61
Tabla 5.2 Familias de macroinvertebrados más abundantes (%) y frecuentes 63
Tabla 5.3 Índices de diversidad en los puntos muestreados 67
Tabla 5.4 Índice de Complementariedad alrededor de la captación para los muestreos realizados 69
Tabla 5.5 Puntuaciones y cálculo del ABI para cada escenario de referencia 70
Tabla 5.6 Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF) alrededor de la captación 72
Tabla 5.7 Evaluación de la vegetación de ribera (QBR-And) 74
Tabla 5.8 Vegetación de ribera en los puntos analizados 76
Tabla 5.9 Calidad ecológica de los puntos alrededor de la captación 78
Tabla 5.10 Parámetros físico – químicos de calidad del agua 79

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Usos consuntivos del agua en el Ecuador 7
Gráfico 3.1 Valores mensuales de precipitación (mm) en la estación P5 - La Mica (Período1995 – 2.007)..... 39
Gráfico 3.2 Valores mensuales de caudal (L/s) en la estación de aforo del río Jatunhuayco aguas arriba de la captación (Período 1979 – 2008) 40
Gráfico 5.1 Distribución de la abundancia de individuos (a) y riqueza de taxones (b) en cada punto de muestreo 62
Gráfico 5.2 Abundancia relativa y riqueza de taxones por escenario de referencia 64
Gráfico 5.3 Abundancia y riqueza de los Grupos de Alimentación Funcional (GFA) 65
Gráfico 5.4 Variación de la abundancia relativa de los GFA 66
Gráfico 5.5 Variación de los índices de diversidad por escenario de referencia 68
Gráfico 5.6 Valores de ABI (a) y AASPT (b) por cada punto de muestreo 71
Gráfico 5.7 Variación del Hábitat Fluvial en los puntos alrededor de la Captación 73
Gráfico 5.8 Variación de la Calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And) alrededor de la captación 75
Gráfico 5.9 Variación del caudal por la derivación de la captación Jatunhuayco 80
Gráfico 5.10 Variación del pH (a), Conductividad (b), Nutrientes (c) y Oxígeno Disuelto (d) en los diferentes escenarios..... 82
Gráfico 5.11 Porcentaje de variación del caudal, abundancia y riqueza en el Muestreo 1 (M1) y Muestreo 2 (M2) 88

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1 Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF) 49
Fotografía 4.2 Vegetación de ribera del río Jatunhuayco antes de la captación 50
Fotografía 4.3 Vegetación de ribera del río Jatunhuayco luego de la captación 51
Fotografía 4.4 Medición de parámetros de calidad del agua in situ 52
Fotografía 4.5 Muestreo para análisis de calidad del agua 52
Fotografía 4.6 Muestro de macroinvertebrados utilizando la red tipo Surber..... 55
Fotografía 4.7 Limpieza, separación y preservación de las muestras de macroinvertebrados..... 56
Fotografía 4.8 Identificación y cuantificación de macroinvertebrados en el LDIA..... 57
Fotografía 4.9 Aforo de caudales por vadeo utilizando un micromolinete C2 OTT..... 58

INDICE DE MAPAS

Mapa 3.1 Río Jatunhuayco y sección de estudio 37
Mapa 3.2 Cobertura vegetal de la microcuenca Jatunhuayco y puntos de estudio..... 42
Mapa 4.1 Puntos de muestreo y estaciones de aforo y meteorológicas..... 47

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Métodos de recolección de macroinvertebrados acuáticos. a) Red tipo D; b) Red de pantalla; c) Red Surber; d) Draga Ekman y e) sustratos artificiales. 24
Figura 4.1 Marco conceptual de trabajo 44
Figura 4.2 Sección transversal para el cálculo del caudal 59
Figura 5.1 Esquema de las principales características del sitio de estudio 84

RESUMEN

En este proyecto de investigación se realizó la evaluación ecológica del río Jatunhuayco alrededor de la captación Jatunhuayco perteneciente a la EPMAPS, con el fin de generar una línea base del estado de conservación del cuerpo de agua. La evaluación se realizó siguiendo el protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos – CERA, el cual integra información (índice ECOSTRIAND) de la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua (índice ABI) y un análisis de la calidad ecológica mediante los índices de hábitat fluvial (IHF) y vegetación de ribera (QBR-And). La evaluación se realizó en 4 puntos ubicados antes y después de la captación, en dos temporadas de muestreo (Octubre–2015 y Enero–2016). Para complementar el análisis de calidad del agua, se evaluaron diversos parámetros físico-químicos.

Los resultados muestran que los puntos antes de la captación (valle o planicie glaciar) son de calidad ecológica “Regular”, caracterizados por una diversidad baja con organismos bentónicos dominantes (Chironomidae y Hyallelidae), y un hábitat fluvial con abundancia de macrófitas y sustrato fino. La vegetación de ribera no arbustiva (herbazal de páramo), presenta signos de alteración importante por efectos de la ganadería intensiva y quema de pajonal de años anteriores. Por el contrario, aguas abajo de la captación, el paisaje es más complejo debido a que el río forma una quebrada estrecha y abrupta, con sustratos de mayor tamaño y pendiente más pronunciada. A pesar del descenso del caudal, se obtuvo una calidad ecológica “Buena” (mayor variabilidad y heterogeneidad de macroinvertebrados), debido a que se alberga un hábitat fluvial con variedad de sustratos y una vegetación de ribera más desarrollada, compleja y sin alteraciones antrópicas.

El diagnóstico de la calidad ecológica del río Jatunhuayco proporciona información del estado de conservación del ecosistema fluvial y la gestión de la EPMAPS en la microcuenca, con el fin de contribuir a la formulación de estrategias y acciones de protección y conservación de este ecosistema.

ABSTRACT

In this research project was conducted in the ecological assessment of the Jatunhuayco river around Jatunhuayco uptake belonging to the EPMAPS, in order to generate a baseline of the conservation status of the ecosystem. The evaluation was carried out in accordance with the protocol of the Ecological Quality of Andean Rivers (CERA) which integrates information of the macroinvertebrate community as indicators of water quality (ABI index) and the ecological quality by using indexes of river habitat (IHF) and riverside vegetation (QBR-And). The evaluation was performed in 4 points (before and after the water uptake) in two seasons of sampling (October 2015-January 2016). To complement the analysis of water quality, different physical and chemical parameters were evaluated.

The results show that the points before the uptake (valley or plain glacier) are of ecological quality "Regular", characterized by a low diversity with benthic organisms dominant (Chironomidae and Hyallelidae), and a river habitat with abundance of macrophytes and fine substrate. The riparian vegetation is not shrub (grassland of moorland), and its shows signs of significant alteration by the effects of intensive farming and burning of in previous years. By contrast, downstream of water intake the landscape is more complex, with substrates of greater size and steeper slope. Despite a drop in the flow, is obtained an ecological quality "good" (greater variability and heterogeneity of macroinvertebrates), due to that hosts a river habitat with a variety of substrates and a riverside vegetation more developed, complex and without anthropic alterations.

The diagnosis of the ecological quality of Jatunhuayco river, provides information on the state of conservation of the fluvial ecosystem and the management of the EPMAPS in the microbasin, in order to contribute to the formulation of strategies and actions for the protection and conservation of this ecosystem.

PRESENTACIÓN

El presente documento está conformado por 6 capítulos, con el siguiente contenido:

El primer capítulo presenta la introducción del proyecto de investigación, los objetivos, el alcance y la justificación en base a la cual se desarrolló este trabajo.

El segundo capítulo presenta una recopilación bibliográfica sobre los ecosistemas acuáticos altoandinos y el uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua. Adicionalmente, se describe la calidad ecológica de un sistema fluvial y las herramientas de evaluación utilizadas en ríos de páramo, objeto de estudio.

En el tercer capítulo se incluye datos generales de las características del área de estudio, así como una revisión histórica e importancia hidrológica de esta microcuenca.

La metodología de la investigación y el marco conceptual de trabajo se expone en el capítulo 4, se detalla el procedimiento ejecutado de muestreo para el análisis de la comunidad de macroinvertebrados, vegetación de ribera, hábitat fluvial y parámetros físico - químicos de calidad del agua.

El quinto capítulo presenta los resultados de todas las variables analizadas en campo y las discusiones que se obtuvieron en la investigación, comparándolas con estudios previos de ríos de altura y comunidades de macroinvertebrados.

Finalmente, el sexto capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación, en lo referente a la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados, así como el estado ecológico del cuerpo de agua alterado por la captación Jatunhuayco.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador, por su ubicación geográfica posee gran diversidad de ecosistemas con singular importancia ecológica, económica y social; dentro de los cuales se destacan los ecosistemas fluviales altoandinos, los mismos que se originan en los ecosistemas de páramo y se encuentran sobre los 2.500 msnm. En el Ecuador, los ecosistemas de páramo cubren aproximadamente 1.250.000 Ha, es decir 6 % del territorio nacional (Mena & Hofstede, 2006). Estos ecosistemas de pluviosidad frecuente (moderada a alta) y bajas temperaturas, son únicos en biodiversidad y endemismo, y actúan como estabilizadores de suelos, acumuladores de carbono y reguladores del ciclo hidrológico cuando interaccionan con las condiciones climáticas, la vegetación y la riqueza orgánica del suelo (LLambi *et al*., 2012).

Los ríos tropicales altoandinos son considerados como reservorio de recursos hídricos y proveedores de diversos servicios ecológicos y ambientales. Entre los más importantes están: el mantenimiento de agua en calidad y cantidad para uso potable, agrícola, industrial e hidroelectricidad, recarga de acuíferos, control de inundaciones y sequías, regulación de flujos de sedimentos, reciclado de nutrientes, generación de belleza escénica natural, fuente de ecoturismo, y reservorio de importante biodiversidad para la flora y fauna (Quintero, 2010; Armijos & De Bievre, 2013).

Sin embargo, el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial ejercen gran presión a los ecosistemas acuáticos andinos, produciendo incluso la pérdida de su integridad ecológica y funciones ecosistémicas, debido a efectos directos como la reducción, desviación o represamiento de caudal y por el aporte de aguas residuales al medio acuático; además de impactos indirectos como el inadecuado

manejo territorial de las cuencas: deforestación, cambio en el uso de suelo, agricultura o minería (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009; Ríos-Touma, 2008).

Las captaciones de agua (consumo, riego, generación eléctrica, etc.) constituyen una de las infraestructuras de mayor importancia para el desarrollo de la humanidad (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2011). Éstas, generan diversos impactos, tanto en la ecología de la cuenca, como en el lecho de río, con afectaciones a los ecosistemas fluviales y ribereños como: acumulación de sedimentos, modificaciones del régimen de caudales y de la dinámica geomorfológica del río, alteraciones a la calidad del agua y a la diversidad de flora y fauna. (Acosta *et al*., 2009; WWF, 2009). En Ecuador, a pesar de la proliferación de proyectos y obras de captación para diversos usos, no se conocen los efectos adversos y puntuales de las obras hidráulicas sobre el ecosistema acuático (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2011).

En resumen, dado el interés de preservar los ecosistemas fluviales, resulta esencial realizar un diagnóstico del estado de salud o funcionamiento como ecosistema, en el que se integre información de componentes clave, como la medida de parámetros físico-químicos de calidad del agua, las características del canal del río y áreas adyacentes (vegetación de ribera) y las comunidades biológicas presentes. Esta evaluación es de suma importancia para desarrollar estrategias correctas de gestión y conservación del recurso, frente a los diferentes impactos a los que están siendo sometidos (Ladrera, 2012b).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la captación Jatunhuayco (EPMAPS), utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores biológicos de calidad del agua, con el fin de generar una línea base del estado de conservación del cuerpo de agua.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados en las zonas de estudio, antes y después de la captación Jatunhuayco (EPMAPS), mediante campañas de muestreo usando una red Surber.

- Calcular el Andean Biotic Index (ABI) basado en las comunidades de macroinvertebrados a nivel taxonómico de familia.

- Evaluar las características hidromorfológicas del cuerpo de agua a través del índice de hábitat fluvial (IHF) y del estado de conservación de la vegetación de ribera andina (índice QBR – And).

- Definir el estado ecológico del sistema fluvial manejado por la EPMAPS, a través del índice ECOSTRIAND (Ecological Status River Andean).

1.3. ALCANCE

En esta investigación se pretende determinar el estado ecológico del río Jatunhuayco, alrededor de la captación manejada por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMPAS), siguiendo el protocolo de evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos – CERA (Acosta *et al*., 2009), el cual se centra en evaluar la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua, así como una combinación de parámetros para determinar el estado integral de los ríos, por medio de diferentes variables: hidrológicas (caudal), hidráulicas (pendiente del cauce, profundidad y velocidad), físico – químicas de calidad del agua, biológicas y ecológicas. Todos estos parámetros fueron evaluados antes y después de la captación, con el fin de caracterizar al sistema en su totalidad y posteriormente comparar dichos resultados.

Para determinar el estado ecológico del ecosistema fluvial, se utilizó el índice ECOSTRIAND (ECOlogical STatus RIver ANDean), el cual integra la información de la sensibilidad y resistencia a la contaminación de la comunidad de macroinvertebrados (índice biótico ABI), así como el conjunto de características hidromorfológicas del cuerpo de agua, medidos a través de una evaluación visual del hábitat fluvial y estructura del cauce (índice IHF) y de la calidad o tipo de la vegetación de ribera (índice QBR-And).

Además, la presente investigación, abarca el análisis de los parámetros de calidad del agua, medidos in situ o procesados en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Las variables físico químicas que se evaluaron son: Caudal, Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto – porcentaje de saturación, Contenido de Sólidos, Nitratos, Fosfatos, Nitrógeno Amoniacal y Coliformes fecales.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El Distrito Metropolitano de Quito, necesita para consumo en promedio 7,4 m^3/s de agua; cerca del 85 % proviene de aguas superficiales de los páramos del Antisana, Cotopaxi – Sincholagua, y Cayambe – Coca. Uno de los proyectos de la EPMAPS es “La Mica - Quito Sur” ubicado en las faldas del volcán Antisana a 3.900 msnm, el cual consta de tres captaciones de interés para regular el embalse de la laguna La Mica: captación del río Antisana (1.500 L/s), captación del río Jatunhuayco (400 L/s) y captación del río Diguchi (150 L/s) (EPMAPS, 2015).

Dado que el agua que proviene de un determinado lugar es el resultado de los procesos ecológicos específicos de ese sitio, posee cierta calidad y es disponible en cierta cantidad, el buen estado de conservación de ese ecosistema es fundamental (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2011). En efecto, los servicios que proveen los ecosistemas acuáticos pueden verse en conflicto por la demanda del agua como recurso para diversos fines; este conflicto genera un desequilibrio del balance hídrico natural, con lo cual se puede perder la integridad ecológica y funciones ecosistémicas de los ríos.

Actualmente, existe poca información y estudios realizados en la zona altoandina referente a la ecología de cuerpos de agua, además del incremento de la degradación de estos ecosistemas y falta de herramientas de gestión del recurso hídrico (Acosta, 2009). Por tal motivo, se desarrolló el proyecto de Evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos (CERA), el cual propone herramientas de evaluación ecológica de los sistemas fluviales sobre 2.000 msnm (Acosta *et al*., 2009). Este protocolo se genera de una investigación en ríos mediterráneos, realizado por el grupo de investigación F.E.M (Freshwater Ecology and Management) de la Universidad de Barcelona (Bonada *et al*., 2002).

El diagnóstico de la calidad ecológica del río Jatunhuayco es importante para conocer el estado de conservación a lo largo del tiempo y la gestión de la EPMAPS en el cuerpo de agua seleccionado, debido a que el manejo de la cuenca hidrográfica y las alteraciones antrópicas producidas modifican la calidad ecológica del río. El análisis se enfoca en las condiciones físico – químicas, biológicas (macroinvertebrados) y ecológicas (ecosistema de ribera y hábitat fluvial) de los sitios antes y después de la captación, para evaluar el impacto ecológico de la obra hidráulica en la biodiversidad y calidad del agua por disminución del caudal del río, a fin de contribuir a la formulación de estrategias y acciones de protección y conservación de este ecosistema.

Del mismo modo, la propuesta de trabajo permitirá reafirmar la validez del uso de indicadores biológicos conjuntamente con los análisis físico-químicos de calidad del agua y proporcionará resultados que impulsen y deriven nuevas investigaciones en los ríos altoandinos donde existen captaciones u obras hidráulicas, debido a que es indispensable conservar dichos ecosistemas por los diferentes bienes y servicios ecológicos que brindan. Una adecuada gestión de los mismos garantizará el suministro de agua en calidad y cantidad a las poblaciones y ciudades que se abastecen de agua proveniente de los páramos.

CAPÍTULO 2

DEFINICIONES GENERALES

El agua es la base de la vida. Es un recurso crucial para la humanidad, que genera y sostiene la prosperidad económica y social. También es un elemento central de la regulación natural de los ecosistemas y el clima (D.O.C.E, 2000).

Las sociedades humanas han usado ríos, lagos, aguas subterráneas y humedales para diversas actividades, sin tomar en cuenta los efectos negativos y amenazas sobre el ecosistema, diversidad biológica y servicios ecosistémicos de los cuerpos de agua. Los sistemas fluviales están siendo severamente alterados o destruidos a nivel mundial, a una tasa mayor a la de su restauración (Baron *et al*., 2002).

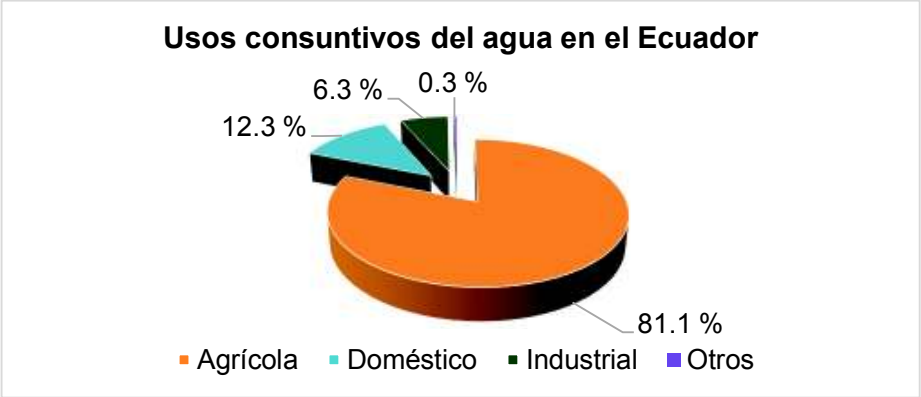
A pesar del uso cotidiano del agua y de la ingente cantidad de discursos sobre su uso razonado, como sociedad tampoco tenemos presente los procesos hidrológicos que se relacionan con el aporte del agua que requerimos, por ejemplo: fuentes de origen, intermitencia, abundancia o escasez, y sus cualidades químicas y biológicas (Sánchez, Herzig, Peters, Márquez, & Zambrano, 2007).

El Ecuador es uno de los países más ricos en agua de América Latina, con un caudal promedio de 432 Km^3/año, lo que permitirá disponer potencialmente de 40.000 m^3/año-persona, un valor casi 2,5 veces mayor a la media mundial, siendo el páramo el ecosistema con mayor importancia hídrica. No obstante, se presentan problemas de escasez de agua, debido a que la distribución natural del recurso y regional de población es desigual y existen zonas en las cuales no se cubren los requerimientos de consumo o riego (Isch, 2009).

Como se observa en el Gráfico 2.1, según los reportes de datos de concesiones de SENAGUA publicadas en el 2011, en el Ecuador el consumo de agua que predomina es el agrícola, pues representa el 81,1 % del caudal utilizado, seguido

por el uso doméstico con 12,3 %, el industrial con 6,3 % y otros usos que corresponden al 0,3 % (FLACSO, MAE, & PNUMA, 2008).

Gráfico 2.1 Usos consuntivos del agua en el Ecuador



FUENTE: SENAGUA, 2011
ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Los ecosistemas de alta montaña tienen una importancia fundamental en el aporte hídrico, pues reciben y almacenan el agua de los glaciares, lluvias y neblina, formando reservorios que son fuente de evaporación hacia la atmósfera y de infiltración hacia las cuencas hídricas que abastecen el agua a las poblaciones; además, ayudan a mantener un caudal base durante la época seca debido a su gran capacidad de retención de agua y a regular los caudales en época de crecida (FLACSO, MAE, & PNUMA, 2008).

2.1. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN LOS PÁRAMOS

El ecosistema es una unidad ecológica de carácter convencional en el cual un grupo de organismos interactúa entre sí y con el ambiente (Roldán & Ramírez, 2008). Los ecosistemas acuáticos continentales cubren alrededor del 1 % del total de la superficie terrestre y son más ricos en especies que los extensos entornos terrestres o marinos; tienen una salinidad menor a 1 g/L y según el movimiento del agua, pueden ser lóticos (lagos, lagunas, humedales y embalses) o lénticos (ríos, arroyos y manatiales) (Sánchez *et al.*, 2007).

2.1.1. LOS PÁRAMOS ANDINOS DEL ECUADOR

Los páramos son biomas o zonas de vegetación que se extienden en los Andes tropicales, entre el límite continuo del bosque andino y las nieves perpetuas (Armijos & De Bievre, 2013). Los páramos de Ecuador no son homogéneos y comienzan a partir de 3.400 – 3.500 msnm en el norte y centro del país; mientras que en el sur, el límite inferior es 3.000 msnm aproximadamente y varía según las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas. Estos ecosistemas, cubren aproximadamente 1.250.000 Ha, es decir 6 % del territorio nacional (Mena & Hofstede, 2006).

Los páramos comparten condiciones climáticas particulares, como estacionalidad diaria y temperatura media de 7 °C a 3.500 msnm, con un descenso entre 0,5 - 0,6 °C por cada 100 m de altitud (De Bièvre *et al*., 2006; Hofstede, Segarra, & Mena, 2003). La precipitación es continua, de frecuencia alta y baja intensidad (500 – 2.000 mm/año) y está en función de la latitud, topografía y patrones de viento, además, los páramos tienen un alto contenido de humedad relativa en el aire, alta radiación ultravioleta (hasta 50 % mayor que el nivel del mar), baja presión de oxígeno, escasez fisiológica de agua y baja evapotranspiración (1 – 1.5 mm/día) (Ministerio del Ambiente, EcoCiencia & UICN, 2001; De Bièvre *et al*., 2006).

Los suelos de los páramos (andosoles) son de origen volcánico, razón por la cual presentan ciertas características que benefician la capacidad de regulación hídrica, como baja densidad aparente, alta retención de humedad (hasta 400 % de su peso en agua), deshidratación irreversible, alta estabilidad estructural y alta porosidad gracias a su elevada cantidad de materia orgánica (Hofstede *et al*., 2014).

En cuanto a su diversidad biológica, existen especies endémicas y adaptadas a cambios bruscos de temperatura, con alta riqueza de vegetación herbácea y arbustiva, que garantiza una estructura compleja de protección al suelo y la captura de neblina (Hofstede *et al*., 2003). En Ecuador, se registran alrededor de 1.524 especies de plantas vasculares, lo cual es una cifra alta en relación a la superficie de los páramos ecuatorianos. En cuanto a la fauna del páramo, se han registrado

alrededor de 70 especies de mamíferos y aves; además, de una diversidad evidente de herpetofauna e invertebrados (Mena & Hofstede, 2006).

Este ecosistema frágil, tiene una elevada importancia debido a los diversos servicios ambientales que suministra, especialmente la provisión de alimento y agrobiodiversidad, así como el almacenamiento de carbono en el suelo y el mecanismo de regulación hídrica, al actuar como sumidero y fuente natural de agua proveniente del deshielo de glaciares, precipitaciones y agua subterránea (Hofstede & Mena, 2004; Anderson *et al*., 2011).

El páramo enfrenta una serie de problemas que amenazan su salud integral y capacidad de brindar servicios ecosistémicos. Las actividades productivas perjudiciales son la modificación del uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal, debido a la deforestación, expansión de la frontera agrícola, quema de pajonal, sobrepastoreo, plantaciones forestales, carreteras, turismo y minería. (Armijos & De Bievre, 2013). En otro panorama, el acelerado cambio del clima, es una realidad innegable y sus efectos son percibidos en la hidrología de páramos, por ejemplo el incremento de temperatura y de insolación, la disminución del balance de agua y el aumento de eventos extremos (lluvias frecuentes e intensas y períodos de sequía más largos) (Anderson *et al*., 2011; Hofstede *et al*., 2014).

Según el Proyecto Atlas Mundial de los Páramos, se identifican 10 tipos de páramos en el Ecuador, presentados en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Tipos de páramos del Ecuador

TIPO	DISTRIBUCIÓN	ESPECIES CARACTERÍSTICAS
Páramo de pajonal	Es el más extenso y cubre cerca del 70 % de la superficie total del páramo en el Ecuador.	*Calamagrostis, Festuca y Stipa*, con manchas boscosas de *Polylepis, Buddleja, Oreopanax y Miconia*; arbustos como *Valeriana, Chuquirahua, Arcytophyllum y Pernettya.*
Páramo de Frailejones	Páramos norteños del Carchi y Sucumbíos, con una pequeña porción en los Llanganates.	*Espeletia pycnophylla* o frailejones, aunque la forma de vida dominandte es el pajonal.

TIPO	DISTRIBUCIÓN	ESPECIES CARACTERÍSTICAS
Páramo herbáceo de almohadillas	Sector de las Antenas, páramo de la Virgen en la Reserva Ecológica Cayambe Coca.	*Azorella, Werneria* y *Plantago.*
Páramo herbáceo de pajonal y almohadillas	Es una combinación de ambas formas de vida, sin un dominio claro de ninguna. Un análisis fitosociológico detallado permitirá asegurar y definir la existencia de este tipo de páramo.	
Páramo pantanoso	Cordillera Oriental en zonas húmedas de abundante precipitación (Cayambe, Antisana, LLanganates).	*Isoetes, Lilaeopsis, Cortaderia, Chusques, Neurolepis*, varios géneros de almohadillas, *Oreobolus* y musgo turbero *Sphagnum magellanicum*
Páramo seco	Se encuentra al sur de Azuay y norte de Loja. Disminución notable de la precipitación.	*Stipia ichu* y otras hierbas resistentes a la desecación como *Orthrosanthus* y *Buddleja.*
Páramo sobre arenales	Se desarrollan sobre un suelo arenoso, resultado de los procesos erosivos intensos, como los arenales del Chimborazo. La escasez de cobertura vegetal se debe a erosión climática (eólica) y antropogénica.	
Páramo arbustivo del sur	Denominado “paramillo”, se encuentra en la provincia de Loja.	Vegetación dominada por *Puya, Miconia, Neurolepis, Oreocallis, Weinmannia y Blechnum*.
Superpáramo o Gelidofita	Situado a los 4.200 msnm. Especies resistentes al frío, la desecación fisiológica y viento.	*Draba, Culcitium, Chuquiragua, Cortaderia, Baccharis y Gentiana.*
Superpáramo azonal	Es un superpáramo a menores altitudes, como los lahares del Cotopaxi y del Antisana.	Existen especies como las del superpáramo y líquenes foliosos.

FUENTE: (Hofstede *et al*., 2003; Aguirre & Torres, 2014; Sierra, 1999)

ELABORADO POR: Soria, I

2.1.2. EL RÍO COMO ECOSISTEMA

Los ríos son sistemas dinámicos y complejos de agua corriente unidireccional, que presentan un estado de cambio continuo de las características físicas, químicas y biológicas, desde el nacimiento del cauce hasta su desembocadura (Gómez, 2011). Además, integran múltiples conexiones con otros ambientes: i) longitudinales, ii) laterales (con la cuenca hidrográfica y vegetación de la ribera) y, iii) verticales (con las aguas subterráneas y la precipitación) (Encalada, 2013).

Para comprender la ecología de un río, se presenta una zonificación longitudinal en función de las comunidades presentes. Illies y Botosaneau (1963) propusieron los

términos de Rhithral (flujo de lluvia y de derretimiento de nieve) y Potamal, para referirse a las zonas altas y bajas de los ríos; dividiendo a cada sección en *epi-, meta-,* e *hypo-.* Además el término Krenal corresponde a manantiales o arroyos estables de aguas subterráneas (Roldán, 2003).

Posteriormente, en 1980 Vannote y su grupo de investigación, proponen el primer concepto de funcionamiento de un río, denominado "The River Continuum Concept"; en el cual, se describe el gradiente de condiciones físicas y químicas (en términos de aporte de energía) y sus respuestas bióticas, desde la cabecera hasta la desembocadura (Vannote, Minshall, Cummins, Sedell, & Cushing, 1980). Este concepto está basado en investigaciones de ríos de bajo orden de la zona templada norte, con vegetación caducifolia y no impactada, motivo por el cual se limita su aplicación en diversos casos a nivel global (Gómez, 2003).

Según este modelo, la calidad del agua en las partes altas es normalmente buena, con una elevada concentración de oxígeno disuelto y baja conductividad, nutrientes y producción primaria; debido a que los consumidores dependen del material alóctono que ingresa al sistema. En los valles, la temperatura del agua aumenta entre 8 y 10 °C, el oxígeno disminuye y se acumula materia orgánica y detritus vegetales a lo largo del trayecto, con lo cual la productividad primaria se incrementa por acción del perifiton y nutrientes. De igual manera la turbiedad aumenta en 5 veces o más en relación a la parte alta y existen elevadas cargas de sólidos disueltos y en suspensión (***Anexo 1***) (Roldán & Ramírez, 2008).

En cuanto a la biodiversidad acuática, las variaciones registradas a lo largo de un río no pueden zonificarse, sino que se producen con un cambio gradual de las comunidades, hasta que se presenta su reemplazo total (Roldán & Ramírez, 2008). Para comprender el funcionamiento biológico, las características estructurales y funcionales de las comunidades deben ajustarse al gradiente fluvial, estando condicionadas a los patrones de entrada, transporte y uso de la materia orgánica; así como a factores geomorfológicos (pendiente, sustrato), físicos (temperatura, velocidad, luz), químicos (concentración de oxígeno y nutrientes) y ecológicos (vegetación de ribera) (Elosegi & Sabater, 2009).

2.1.2.1. Servicios de los ecosistemas fluviales

Se entiende por servicio ambiental a las funciones y procesos naturales que desarrollan los ecosistemas y que se traducen en beneficios para satisfacer necesidades y mejorar la calidad de vida de las sociedades humanas (Elosegi & Sabater, 2009). Los servicios ambientales que un ecosistema fluvial provee son: (Quintero, 2010; Armijos & De Bievre, 2013; Elosegi & Sabater, 2009)

- Disponibilidad de agua en calidad y cantidad para uso humano (industrial, agrícola, potable, navegación, y obtención de energía eléctrica).
- Producción de alimentos y otros bienes (madera, pesca).
- Reciclaje de nutrientes o sumidero de desechos (depuración y autopurificación del agua).
- Regulación de perturbaciones (avenidas o inundaciones, sequías extremas).
- Recarga de acuíferos y regulación del clima.
- Disponibilidad de hábitat para la vida acuática.
- Mantenimiento y regulación de los flujos de sedimentos, nutrientes y salinidad (filtración y limpieza).
- Aporte de recursos tróficos para los ecosistemas aledaños.
- Belleza escénica natural, turismo, cultura, recreación e investigación.

2.1.2.2. Perturbaciones antrópicas en los ecosistemas fluviales

La mayoría de los ríos no se encuentran en una situación prístina, debido a las modificaciones antrópicas en la cuenca (agricultura, ganadería, minería, explotación forestal, desarrollo urbano y el cambio climático) (Elosegi & Sabater, 2009). Como consecuencia, se produce la fragmentación de la continuidad longitudinal, lateral y vertical de los ríos, con modificaciones en la calidad del agua, la diversidad acuática y las funciones y servicios ecosistémicos (Encalada, 2013). Actualmente, existen además, nuevos procesos de contaminación a los cuerpos de agua, como plaguicidas sintéticos, disruptores endócrinos, productos farmacéuticos, metales tóxicos y elementos radiactivos, cuyos efectos aún no son estudiados a fondo (Elosegi & Sabater, 2009).

Las principales actividades antrópicas y sus efectos en un río, se pueden agrupar en tres categorías, como se explica en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Actividades antrópicas y efectos negativos en un sistema fluvial

ACTIVIDAD	EFECTO
IMPACTOS FÍSICOS INDIRECTOS EN LA CUENCA	
Captación de agua para riego, agua potable o generación de energía eléctrica	Ruptura de la continuidad longitudinal del río, pérdida de hábitats y alteración del régimen de caudales, temperaturas y calidad del agua.
Deforestación (tala y extracción de madera) y cultivos	Cambios en la escorrentía, dinámica hidrológica, sólidos en suspensión, luz incidente, temperatura del agua, nutrientes y entrada de hojarasca.
Fuego, pastoreo, cultivos y actividad constructora	Erosión y aumento de sedimentos y material en suspensión.
Plantaciones forestales	Cambios en la calidad y cantidad de entrada de hojarasca y productividad. Pérdida de hábitats.
IMPACTOS FÍSICOS DIRECTOS EN EL RÍO	
Canalizaciones, revestimientos, dragado.	Pérdida de hábitats.
Diques, represas, trasvases y embalses	Regulación del flujo y desviación. Cambios en los regímenes hidrológicos y térmicos, variación de las características químicas, transporte de sedimentos y barreras de dispersión.
Ocupación de la zona riparia	Ahondamiento y corte vegetación acuática, insolación, erosión de orillas y destrucción de la ribera (especies exóticas). Cambio en los aportes alóctonos y en la dinámica de sedimentos y nutrientes. Cambios en la morfología del cauce.
DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA (CONTAMINACIÓN)	
Minería, actividad petrolera	Acidificación, metales pesados
Vertidos urbanos e industriales	Aumento de basura, materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas, disminución de la biodiversidad y calidad físico química del agua.
Agricultura (pesticidas) y ganadería	Elevada demanda de oxígeno y eutrofización.

FUENTE: (Elosegi & Sabater, 2009; Jacobsen, 2003)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Uno de los impactos antrópicos en los ríos, es la alteración hidrológica por la instalación de obras hidráulicas; según los investigadores Stanford y Ward (1979), la regulación artificial de los caudales ha sido más severa e irreversible que los efectos de la contaminación del agua. Puesto que, el caudal está relacionado con

las características físico-químicas, como temperatura del agua, geomorfología del canal y diversidad de hábitats, es una variable clave que limita la distribución y la abundancia de las especias acuáticas; por lo tanto, regula la integridad ecológica de un sistema fluvial. Por esta razón, es imprescindible mantener el régimen de caudales ecológicos, para conservar el funcionamiento, composición y estructura de un sistema fluvial en condiciones naturales (Diez, 2011).

2.1.3. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE RÍOS ALTOANDINOS TROPICALES

Los ríos altoandinos se originan en los ecosistemas de páramo y son considerados zonas prioritarias a conservar, debido a su importancia ecológica y económica por los diversos servicios ambientales que proveen, entre los cuales se puede mencionar la recarga de acuíferos o mantenimiento de agua en calidad y cantidad, la mitigación de avenidas, la retención de sedimentos, el reciclado de nutrientes, la disponibilidad de hábitat y el aporte de recursos tróficos para los ecosistemas río abajo (De la Paz, 2012; Villamarín, 2008).

Las presiones más frecuentes, que contribuyen a la degradación de los ríos de altura, son la reducción del caudal y las alteraciones del régimen hidráulico causado por presas y el aporte de aguas residuales al medio acuático (Ríos-Touma, 2008; Villamarín, 2008; Acosta, 2009). Los ríos altoandinos pueden ser afectados a lo largo del gradiente altitudinal por contaminación orgánica (pastoreo), agroquímicos (nutrientes, pesticidas), sedimentación por obras de construcción y residuos mineros (acidificación y metales pesados) (Jacobsen, 2008).

Los sistemas fluviales altoandinos tropicales son muy variables y presentan fluctuaciones importantes de sus características físicas, químicas e hidromorfológicas a lo largo del gradiente altitudinal, latitudinal y local (Ríos-Touma, 2008; Villamarín, 2008). Diversos estudios, demuestran que la concentración de oxígeno disuelto, la productividad y la temperatura disminuyen, conforme aumenta la altitud (Jacobsen, 2008), lo cual define la distribución de plantas y animales a lo

largo de la cuenca. Además, la variabilidad de los factores ambientales de los ríos de altura, está descrita principalmente por la mineralización (debido al clima, geología del terreno, y actividades antrópicas), el estado de heterogeneidad de hábitat fluvial y la calidad de la vegetación de ribera (Villamarín, 2008).

Se conoce que la temperatura del agua tiene una media de 10,7 °C a los 3.000 msnm, con una fuerte amplitud térmica diaria de hasta 20 °C. A saber, la concentración de oxígeno disuelto es relativamente constante con el incremento de altitud para ríos andinos, debido a la disminución de la presión atmosférica, lo cual compensa el efecto de la disminución de temperatura. Sin embargo, la disminución de la presión parcial de oxígeno atmosférico al aumentar la altitud, conduce a una disminución en el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y esto resulta ser más importante para la biota que la concentración de oxígeno disuelto (Jacobsen, 2008).

Los ríos altoandinos tienen una topografía compleja, definida por pendientes pronunciadas, flujo turbulento y sustrato variable, así como zonas con el canal profundo y estrecho (Jacobsen, 2008). Además, los regímenes de descarga varían según la fuente de agua: Kryal o ríos alimentados del deshielo de los glaciares con ciclos de descarga predecibles por el congelamiento de los mismos; Krenal o manantiales de agua subterránea con una descarga estable; y Rhithral o flujo del derretimiento de la nieve y de la precipitación (Carrera & Gunkel, 2003).

Por otra parte, la cobertura vegetal de ribera es normalmente escasa, con formaciones herbáceas y bosques remanentes (gramíneas, matorrales, almohadillas y arbustos) (Acosta, 2009). Existen además, diversas plantas acuáticas como macrófitas enraizadas, musgos y algas filamentosas características de ríos de montaña, con diversas formas de vida como semiacuáticas, emergentes y totalmente sumergidas (Jacobsen, 2008).

Con respecto a la fauna ictiológica, existe una disminución de la riqueza de especies con la altitud; por ende, la diversidad de peces en ríos de altura es pobre. Existen ciertos géneros dominantes como *Astroblepus* (preñadilla) y *Salmónidos*

(truchas); estas últimas, son especies introducidas, invasoras y muy agresivas, por lo cual han desplazado a las demás comunidades (Jacobsen, 2008).

2.1.3.1. Diversidad de macroinvertebrados en los ríos altoandinos

La biogeografía y ecología de macroinvertebrados a nivel de especie, en corrientes tropicales andinas son poco conocidas, debido a la dificultad en su identificación; sin embargo, existe una amplia investigación a nivel de familia (Jacobsen, Cressa, Mathooko, & Dudgeon, 2008). En efecto, el patrón general de disminución de la diversidad con la altitud, no es tan claro como en otros grupos (peces); debido a la variabilidad de hábitats entre cada río (Maldonado *et al*, 2011).

La fauna de macroinvertebrados en ríos andinos, está caracterizada por un número limitado de familias y mayormente representada por insectos; dentro de los mismos, el orden Díptera es el dominante y más complejo. Por otra parte, la organización funcional según el tipo de alimentación, está dominada por organismos predadores, raspadores (herbívoros) y colectores; se conoce que los filtradores son abundantes pero no dominantes, mientras que los trituradores son los menos representativos e importantes, tanto en riqueza como abundancia (Jacobsen, 2008).

En los ríos de páramo ecuatorianos, los grupos dominantes de Insectos son Plecoptera, Ephemeroptera, Tricoptera, Coleoptera y Díptera; mientras que los no insectos, se representan en menor porcentaje por Turbellaria, Oligochaeta, Nematoda, Hirudinea, Amphipoda e Hydracarina. De manera general, la diversidad de todos los órdenes disminuye a mayor altitud, pero hay grupos (Hemíptera y Odonata) que están ausentes en el páramo a pesar de ser diversos en tierras bajas; existen también, importantes familias restringidas a estas alturas como *Hyallelidae, Gripopterygidae, Anomalosychidae y Limnephilidae* (Jacobsen, 2003). En el Anexo 2, se muestra los diferentes taxones de macroinvertebrados recolectados con una red Surber (500 µm) en 15 ríos de altura del Ecuador, en un rango de 3.300 - 4.200 msnm (Jacobsen, 2008).

2.2. MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA

2.2.1. INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo y hace referencia a sus características o condiciones físicas, químicas y biológicas, en función del uso o destino final. En un ecosistema acuático, la calidad del agua es una medida crítica de las propiedades químicas y biológicas necesarias para mantener procesos para la vida; en este sentido, los principales parámetros para determinar signos de afectación son: temperatura, conductividad, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, salinidad, nutrientes, sólidos, agentes patógenos, compuestos orgánicos, entre otros que ayudan a caracterizar impactos en la vida acuática y en el consumo (Barrenechea, 2005).

El análisis físico-químico de calidad del agua, es un método clásico de fácil estandarización para evaluar el grado de afectación de un cuerpo de agua en función de contaminantes específicos; al ser un método puntual, tiene ciertas desventajas, como la falta de integración temporal al muestreo, son costosos y tienen riesgo de contaminación de la muestra (Roldán, 1999). Para complementar el análisis de calidad del agua, se utilizan métodos biológicos basados en organismos acuáticos, ya que éstos reaccionan ante las alteraciones del sistema, cambiando su composición específica (Roldán & Ramírez, 2008). Es necesario aclarar que la información biológica, no reemplaza los registros físico – químicos, sino que los complementa (De la Lanza, Hernández, & Carbajal, 2000).

2.2.1.1. Bioindicadores

Un bioindicador es un organismo selecto por el grado de sensibilidad o tolerancia a diversos tipos de contaminación (De la Lanza *et al*., 2000). Se utilizan para dos tipos de estudio: un diagnóstico o evaluación rápida con un muestreo, basado en la comparación entre sitios; y por otro lado el Biomonitoreo o muestreo periódico, que hace referencia al uso sistemático de respuestas biológicas para evaluar cambios

en el ambiente. En ambos casos, es necesario un control de referencia o línea base para evaluaciones futuras (Springer, 2010).

Los análisis biológicos de calidad del agua, tienen la ventaja de hacer integraciones espaciales del sistema en un período prolongado de tiempo, hacer estudios de bioacumulación, biomagnificación o toxicidad aguda; además, dan respuesta a contaminaciones crónicas no puntuales y miden la degradación de ciertos hábitats, siendo relativamente más baratos (Roldán, 1999). Sin embargo, los organismos bioindicadores poseen ciertas limitaciones, pues no pueden identificar un contaminante en especial o la causas del impacto, no tienen una expresión numérica precisa, pero se expresan por índices bióticos; por otra parte, se requiere personal con experiencia taxonómica y existe la necesidad de adaptar los índices localmente en función de las características particulares de cada sistema (De la Lanza *et al*., 2000).

En la Tabla 2.3 se muestran los principales organismos utilizados como bioindicadores de calidad del agua; dentro de este grupo, los macroinvertebrados son los más usados porque ofrecen métodos baratos, simples y sensitivos, debido a sus características ecológicas y biológicas (Roldán, 1999; Roldán, 2003).

Tabla 2.3 Organismos utilizados como indicadores de la calidad del agua

ORGANISMO	VENTAJA	DESVENTAJA
Bacterias	Metodología rutinaria bien desarrollada, fácil muestreo; respuesta rápida a cambios o contaminación. Fácil cultivo. Indicadores de contaminación fecal y materia orgánica.	Células que no han sido originadas en el punto de muestreo. Tiempos de vida cortos. Se requiere equipo especial para el manejo de muestras.
Protozoarios	Valores sapróbicos bien conocidos. Rápida respuesta a cambios. Fácil muestreo	Problemas de taxonomía. Células que no han sido originadas en el punto de muestreo (efecto deriva).
Algas (Fitoplancton)	Tolerantes a la contaminación bien documentada. Indicadores usados para la eutrofización e incremento de turbiedad.	Problemas de taxonomía y muestreo. Poco usado para contaminación orgánica o fecal, pesticidas o metales.

ORGANISMO	VENTAJA	DESVENTAJA
Macroinvertebrados (insectos, moluscos, anélidos, poliquetos, crustáceos, nemátodos)	Diversidad de formas y hábitats que responden a variaciones ambientales. Muchas especies son sedentarias con ciclos de vida larga y pueden indicar efectos de contaminación en el sitio de muestreo en el tiempo.	Dificultades cuantitativas de muestreo e identificación a nivel de especie. Sustrato importante para las muestras. Efecto de deriva aguas abajo. Conocimiento necesario de su ciclo de vida.
Macrófitas	Especies fijas a un sustrato, con facilidad de observación e identificación. Buenos indicadores de material suspendido y de nutrientes, Eutrofización.	Respuesta a la contaminación no bien documentada. Presencia estacional y poca variedad.
Peces	Métodos bien desarrollados y de fácil identificación. Efecto fisiológico obvio; pueden indicar el efecto de la cadena alimentaria. Bioensayos de toxicidad para vigilancia, advertencia e impactos.	Las especies pueden migrar para evitar la contaminación. Muestreo difícil.

FUENTE: (De la Lanza *et al*., 2000)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

2.2.2. USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que se pueden observar a simple vista, pues tienen un tamaño mayor a 0,5 mm y pueden ser retenidos en redes de tamaño de poro de 200 - 500 µm (Hanson, Springer, & Ramírez, 2010).

En la Tabla 2.4 se detallan los grupos de invertebrados acuáticos presentes en los ecosistemas fluviales; cada especie ha desarrollado adaptaciones para sobrevivir a las condiciones del río, algunos muy sensibles desaparecen bajo impactos leves, mientras que otros crecen y abundan en aguas contaminadas. El grupo más representativo, abundante y estudiado son los insectos, mientras otros filos como poríferos, celenterados, anélidos, platelmintos o nemátodos son poco estudiados a nivel del trópico (Roldán & Ramírez, 2008).

Tabla 2.4 Principales grupos de macroinvertebrados de ecosistemas fluviales

FILO	CLASE / SUBCLASE	ORDEN	OBSERVACIONES
Porífera			Esponjas de agua dulce fijas al sustrato.
Coelenterata			Hidras o pólipos de agua dulce y limpia.
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Son las planarias; aguas oxigenadas.
Nematomorpha	Gordioidea		Gusanos redondos con cuerpos sin anillar (gusanos crin de caballo).
Annelida	Oligochaeta		Gusanos anillados o tubifícidos (aguas contaminadas)
	Hirudinea		Gusanos anillados con cuerpo aplanado y ventosas (sanguijuelas).
Mollusca	Gastropoda		Moluscos con una concha (caracoles).
	Bivalvia		Moluscos con dos conchas.
Arthropoda	Arachnida	Prostigmata	Arañas microscópicas (ácaros de agua dulce).
	Melacostraca	Amphipoda	Se incluyen las gambas de agua (Hyalella), muy abundantes.
		Decapoda	Cangrejos y camarones de río
	Insecta	Ephemeroptera	La vida del adulto es muy efímera (horas o minutos); viven en aguas limpias y oxigenadas.
		Odonata	Larvas de libélulas, son voraces depredadoras.
		Plecoptera	Especies que viven en aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación. Poco conocidos.
		Megaloptera	Poco diversificado, son grandes depredadores.
		Hemiptera	Son los zapateros o chiches de agua.
		Coleoptera	Grupo más grande y complejo, pueden vivir en el agua en su fase larvaria, adulta o ambas.
		Trichoptera	Fabrican refugios o casas con arena o residuos vegetales, viven en aguas torrentosas limpias y oxigenadas.
		Lepidoptera	Grupo pequeño y poco conocido, viven bajo seda adheridos al sustrato.
		Diptera	Grupo más abundante, complejo y ampliamente distribuido. Se incluyen larvas de mosquitos, zancudos y tábanos.

FUENTE: (Ladrera *et al*., 2013; Roldán & Ramírez, 2008)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

2.2.2.1. Biología y Ecología de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados dulceacuícolas presentan una variedad de adaptaciones, en su hábitat, locomoción, alimentación y respiración. Algunos organismos viven en la superficie del agua, caminando, patinando o brincando (Neuston), mientras otros permanecen suspendidos en la columna de agua (Plancton) o bien nadan activamente (Necton). La mayoría viven sobre algún tipo de sustrato, adheridos a rocas, plantas acuáticas, troncos, hojarasca, grava, arena, limo o arcilla y se denominan bentos o fauna bentónica. Según su locomoción, pueden ser buceadores, nadadores, agarradores, reptadores, trepadores y excavadores (Hanson *et al*., 2010; Roldán & Ramírez, 2008).

Existe una gran diversidad de hábitos alimenticios en los macroinvertebrados acuáticos (herbívoros, carnívoros, omnívoros, detritívoros). Dentro de los herbívoros o consumidores de plantas vasculares y algas, existen organismos fragmentadores o desmenuzadores de tejido vegetal, otros son filtradores de partículas en suspensión y algunos son raspadores que se alimentan de perifiton o algas adheridas al sustrato. Por otro lado, los carnívoros pueden ser depredadores, parasitoides y parásitos. Finalmente, los detritívoros son los que se alimentan de materia orgánica muerta de origen vegetal o animal, e incluyen a los fragmentadores, filtradores y recogedores (Hanson *et al*., 2010).

Por otro lado, las adaptaciones respiratorias de los macroinvertebrados para obtener oxígeno del agua son diversas, se conocen organismos que mantienen contacto con la atmósfera periódicamente, otros que llevan un suministro de aire al sumergirse, algunos que tienen una película de aire permanente en su cuerpo denominado plastrón y otros que poseen branquias espiraculares. Además existen grupos de macroinvertebrados que tienen una respiración cutánea y branquias traqueales, especialmente los insectos (Hanson *et al*., 2010).

2.2.2.2. Importancia ecológica de macroinvertebrados

Los macroinvertebrados tienen una importancia esencial en los ecosistemas acuáticos, pues son abundantes en todo el sistema fluvial y juegan un papel primordial en el funcionamiento del continuum del río (De Pauw, Gabriels, & Goethals, 2006), al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos y ser fundamentales en la transferencia de energía, desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas; es decir, controlan la productividad primaria de los sistemas acuáticos. Además, aumentan la tasa de descomposición de la materia orgánica y liberan nutrientes incorporados en ella (Ladrera *et al*., 2013).

La deriva o movimiento aguas abajo de los macroinvertebrados bénticos, es un proceso sumamente común e importante en los ríos; estos organismos, entran en deriva por razones de comportamiento (para escapar de depredadores), dispersión (buscar sitios de alimentación) o como resultado de disturbios (cambios en el caudal o calidad del agua) (Hanson *et al*., 2010). En ríos tropicales altoandinos, el estudio de deriva de macroinvertebrados es poco documentado (Jacobsen, 2008), se sabe que a nivel local, la recolonización varía entre zonas de rápidos, pero no entre secciones del río. De manera general la deriva es aperiódica y ligeramente mayor en la época húmeda, siendo chrironomidae, baetodes, muscidae, simulidae e hydroptilidae, los taxones más propensos a este fenómeno. Los efemerópteros tienen un comportamiento singular, pues presentan una mayor deriva en la noche, lo cual puede estar relacionado a la presencia de la trucha en los ríos altoandinos (Ríos-Touma, 2008).

Es necesario mencionar que muchos macroinvertebrados pasan toda su vida siendo acuáticos y otros como los insectos, desarrollan su etapa larvaria en el agua y su vida adulta en tierra; constituyéndose en importantes componentes en la dieta de organismos superiores (Roldán & Ramírez, 2008). Finalmente, a pesar de que ciertos grupos pueden ocasionar problemas como plagas o transmisión de enfermedades (dípteros), se debe señalar la gran importancia ecológica de estos

organismos acuáticos en estudios de calidad del agua, evaluación ambiental y biomonitoreo (Hanson *et al*., 2010).

2.2.2.3. Métodos de recolección y tratamiento de las muestras

Los hábitats acuáticos son muy diversos, se definen en función de la profundidad (somero – profundo), velocidad del agua (rápida, lenta), tipo de sustrato (pedregoso, fangoso, arenoso) y presencia de vegetación acuática; por consiguiente, la variedad de métodos aplicables para su estudio es muy amplia. Dado que la estructura de la comunidad de macroinvertebrados está en función de su distribución geográfica, condiciones físicas del río, calidad fisicoquímica del agua, disponibilidad de hábitat y fuentes de contaminación, es necesario analizar la cuenca de drenaje y características del cauce (Domínguez & Fernández, 2009).

Antes de seleccionar los métodos de muestreo, se debe definir ciertas consideraciones, como: el objetivo del estudio, el tipo de hábitat a ser analizado, los sitios de referencia, el esfuerzo a realizarse (frecuencia de muestreo, equipos y materiales, nivel de identificación), los datos adicionales que deben registrarse, el tratamiento y conservación de la muestra y los análisis de resultados (Domínguez & Fernández, 2009; Espinoza, Andino, Jacobsen, & Dangles, 2010).

Existen diferentes métodos de recolección (***Figura 2.1***), según el objetivo de investigación (cualitativo, cuantitativo o semi-cuantitativo), según las características físicas del medio y según los grupos taxonómicos (Roldán, 1989).

- **Métodos para ambientes poco profundos**

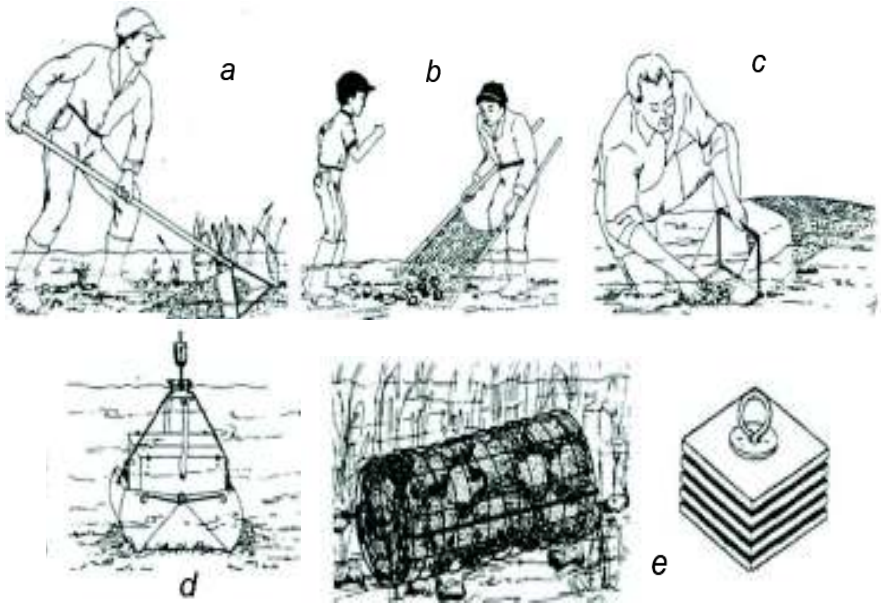
Para cuerpos de agua poco profundos, se utilizan redes manuales de tamaño de malla de 250 ó 500 µm. Los estudios cualitativos emplean diversos equipos, como redes tipo D, redes manuales (red de pantalla) e incluso coladores de cocina; en cambio, los estudios cuantitativos permiten conocer la densidad o abundancia, en función del área o tiempo de muestreo, se utilizan redes Surber o tipo Hess (***Figura 2.1-a***) (Ramírez, 2010). Además, se usan sustratos artificiales para evaluar la colonización (***Figura 2.1-e***), por ejemplo, canastas de alambre con rocas o

vegetación, o placas de madera de área conocida, que se colocan en el río por un tiempo determinado (Ramírez, 2010).

- **Métodos para ambientes de aguas profundas**

Existen segmentos de ríos que presentan una limitante en el muestreo, por la profundidad y textura del fondo; por lo cual se utilizan Dragas (***Figura 2.1-d***), como la Ekman o Peterson, para conocer el número de individuos por unidad de área, también pueden utilizarse los sustratos artificiales (Ramírez, 2010).

Figura 2.1 Métodos de recolección de macroinvertebrados acuáticos. a) Red tipo D; b) Red de pantalla; c) Red Surber; d) Draga Ekman y e) sustratos artificiales.



FUENTE: (Roldán, 2003)

- **Preservación de las muestras**

Las muestras de macroinvertebrados acuáticos generalmente se preservan y transportan en fundas o frascos etiquetados, con alcohol al 95 % o formalina al 5 % (se prefiere el uso de alcohol por ser menos tóxico); es importante tomar información relevante del muestreo, como: técnica usada, diseño experimental y condiciones del lugar. Finalmente, se procede a la separación y clasificación de las muestras con guías de identificación, para su posterior análisis (Ramírez, 2010).

2.2.2.4. Macroinvetebrados bentónicos como Bioindicadores

Los macroinvertebrados bentónicos son los organismos más ampliamente utilizados como bioindicadores de calidad del agua, son útiles para evaluar presiones fisicoquímicas (contaminación térmica, mineralización, eutrofización, metales y contaminación orgánica) e hidromorfológicas (alteración del régimen de caudal y de la morfología del lecho fluvial), debido a las siguientes características o ventajas ecológicas (Roldán, 2003; Bonada, Prat, Resh, & Statzner, 2006):

- Son abundantes, sedentarios, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Poseen ciclos de vida largos y son apreciables a simple vista.
- Relativamente fáciles de identificar a nivel de familia y género.
- Son muy heterogéneos y con gran diversidad taxonómica, lo cual refleja la sensibilidad a diferentes tipos de contaminación.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo.
- Proporcionan información para integrar efectos acumulativos.
- El muestreo es eficiente y económico (métodos cualitativos establecidos).
- Se pueden cultivar en laboratorio y varían poco genéticamente.

El uso de macroinvertebrados como bioindicadores presenta ciertas desventajas:

- Los muestreos cuantitativos requieren gran número de réplicas, lo cual significa mayor tiempo y costos.
- Las variaciones estacionales pueden complicar los análisis.
- Pueden existir otros factores naturales o antrópicos independientes de la calidad del agua que afectan la distribución y abundancia, como la deriva.
- Ciertos grupos no son bien conocidos taxonómicamente.

2.2.3. SISTEMAS DE BIOINDICACIÓN

El uso de bioindicadores a nivel de comunidad, requiere la transformación de los datos en alguna expresión sintética, como el número total de taxones o la abundancia. A estas expresiones se les llama Métricas y pueden ser, cualitativas

(número de taxones) o cuantitativas (individuos/m^2) (Prat *et al*., 2009). A partir del año 1950, la tendencia de la evaluación biológica, ha sido producir índices de calidad del agua; actualmente, se conocen cerca de 100 (Roldán, 1999). A saber, los diferentes métodos, se han subdividido en cuatro grandes grupos: unimétricos, multimétricos, multivariables y rasgos biológicos. En América del Sur, los tres últimos criterios, se encuentran desarrollados de forma incipiente, pues se requiere un conocimiento profundo de las condiciones de referencia e identificación taxonómica a nivel de especie (Prat *et al*., 2009).

2.2.3.1. Índices Unimétricos

La manera más simple de evaluar la calidad biológica, es con un valor que mida una característica clave de la comunidad, indicando su respuesta a la perturbación (aumento o disminución de organismos). Existen diversas métricas simples según la riqueza específica, como número total de taxones o abundancia de algunos grupos específicos como Efemerópteros, Plecópteros o Tricópteros (EPT), que son intolerantes a la contaminación; mientras otros como los Dípteros son tolerantes y aumentan en número. En relación a las características tróficas, se puede evaluar en porcentaje los diferentes grupos alimenticios (filtradores, raspadores, recolectores, trituradores, depredadores) (Prat *et al*., 2009).

- **Índices bióticos**

Los índices bióticos son los más comunes y consisten en la combinación de la riqueza de taxones con la abundancia y con la tolerancia/intolerancia a las variaciones ambientales de cada grupo (Prat *et al*., 2009). El índice saprobio fue el primero en desarrollarse y se basa en la presencia, abundancia y tolerancia a la contaminación de especies indicadoras de los organismos acuáticos. Además, existen varios índices de diversidad (Shannon – Wiener, Margalef y Simpson) que relacionan el número de especies observadas (riqueza, uniformidad) con el número de individuos (abundancia), bajo el principio de que una perturbación del ecosistema fluvial, conduce a una reducción en la diversidad (De Pauw *et al*., 2006).

Sin duda, los índices bióticos para macroinvertebrados más populares actualmente son los basados en el método BMWP (Biological Monitoring Working Party), el cual se desarrolló en Inglaterra en 1978 y combina el número de taxones total con un valor de tolerancia/intolerancia; se emplea un nivel taxonómico de familia y según su sensibilidad ecológica o capacidad de resistencia a la contaminación se asignan puntuaciones de 1 (tolerantes) a 10 (sensibles). La suma de los puntajes de las familias presentes da el valor de BMWP total del sitio, mientras que el puntaje promedio o ASPT (Average score per taxon) se obtiene dividiendo el BMWP total por el número de taxones. Finalmente, según los valores de BMWP, se obtienen 5 clases de calidad del agua (buena, aceptable, dudosa, crítica o muy crítica) (Roldán, 1999). Este método ha sido adaptado en diversos países a nivel mundial en función de las características particulares de cada región, una de las aplicaciones a ríos de altura es el índice ABI (Ríos-Touma *et al*., 2014)

2.2.3.2. Índices Multimétricos

Este enfoque utiliza varias métricas que representan características funcionales de la comunidad de macroinvertebrados y se resumen en una puntuación o expresión de la calidad general. Los índices de Integridad Biótica (IBI), se diseñan para una ecorregión determinada y se incluyen métricas simples, índices bióticos y otros como la estructura, la tolerancia o la alimentación (De Pauw *et al*., 2006).

2.2.3.3. Índices Multivariados o Predictivos

Estos métodos efectúan comparaciones de las características de la comunidad biológica estudiada (abundancia relativa de cada taxón) con una de referencia, con la ayuda de análisis estadísticos. Se incluye el índice RIVPACS (River Invertebrate Prediction and Classification System), que predice la comunidad de macroinvertebrados en función de los parámetros físico químicos de calidad del agua (De Pauw *et al*., 2006). Estos métodos son muy potentes pero de diseño complicado, pues se requiere un conocimiento amplio a nivel de especie.

2.2.3.4. Otras metodologías

Actualmente, se utilizan características biológicas (tamaño, forma, reproducción, alimentación, respiración, movilidad y adaptaciones) como bioindicadoras; la ventaja de este método consiste en la poca influencia de la distribución geográfica sobre los rasgos biológicos; pero se requiere un análisis estadístico complejo e identificación a nivel de especie (Prat *et al*., 2009).

2.3. CALIDAD ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS LÓTICOS

Con la finalidad de reducir el deterioro ambiental de los ecosistemas acuáticos, surge la iniciativa por parte del Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DOCE) el 22 de diciembre del año 2000 y se publica la Directiva Marco del Agua (DMA) del Parlamento Europeo y el Consejo de Europa, con el objeto central que la gestión del recurso no debe ser sólo la calidad del agua, sino la conservación del estado ecológico. En este sentido, la calidad del agua expresa la potencialidad del agua para dedicarla a un uso determinado, mientras que el estado ecológico indica la calidad de la estructura y el funcionamiento de un río (Ladrera, 2012a).

Uno de los problemas en la evaluación de la calidad del agua, es que los métodos sólo se han enfatizado en el aspecto físico - químico, el cual representa apenas una parte de las métricas necesarias para el monitoreo. Por tal motivo, debido a la necesidad de una gestión integrada del recurso, se deben emplear herramientas que integren el efecto sobre todos los componentes biológicos del ecosistema acuático, cuyo monitoreo ha tenido gran auge en la última década (D.O.C.E, 2000).

En este sentido, se propone el concepto de Estado Ecológico (EE), que es una expresión o medida integral de la calidad, salud, estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, asociados a las aguas superficiales (ríos, lagos, aguas de transición, aguas costeras); esta es una definición basada en la condición de los elementos biológicos del sistema (Sánchez, 2011; Ruza, 2008). Para medir el estado ecológico de los ríos, la DMA recoge en su anexo V, los parámetros que deben considerarse en relación a las condiciones de referencia, dividiéndolos en

tres categorías: Indicadores biológicos (Composición y abundancia de flora acuática, macroinvertebrados y fauna ictiológica), Indicadores hidromorfológicos (Régimen hidrológico, continuidad del río y condiciones morfológicas) e Indicadores físico químicos de calidad del agua (Ruza, 2008).

2.3.1. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE RÍOS ALTOANDINOS.

Las herramientas de evaluación ecológica de ríos, han sido mayormente desarrolladas y aplicadas en América del Norte y Europa (Villamarín *et al*., 2013). En Sudamérica, a excepción de los indicadores físico - químicos de calidad del agua, básicamente se ha procedido a la adaptación más o menos elaborada de estos métodos e indicadores a algunas realidades locales (Roldán, 1999).

Desde la implementación de la Directiva Marco del Agua (DMA) en Europa en el año 2000, a nivel mundial se generaron protocolos, guías y estrategias para el monitoreo, gestión y manejo del recurso hídrico, con el fin de alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua y evitar el deterioro del recurso. Dado que la DMA expresa de forma general los elementos que hay que medir, pero no concreta cómo hacerlo (Lozano, Pujante, & Martínez, 2006), se requiere de una metodología de muestreo estandarizada, que integre y resuma el efecto global de los impactos en el ecosistema fluvial (Acosta *et al*., 2009).

El grupo de investigación F.E.M (Freshwater Ecology and Management) del Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona, en el marco del proyecto CERA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos), ha desarrollado una metodología de muestreo y determinación del estado ecológico para ríos altoandinos, basados en sus investigaciones previas (protocolo ECOSTRIMED y GUADALMED); se evaluó de forma preliminar en las cuencas del río Guayllabamba y Cañete (Perú). Los parámetros son: el índice biológico de macroinvertebrados (ABI), el índice de calidad de Hábitat Fluvial (IHF) y el índice de estado de la vegetación de ribera (QBR-And) (Acosta *et al*., 2009).

2.3.1.1. Índice Biológico Andino (ABI)

El BMWP ha sido adaptado a diversos países o regiones, es así que en América del Sur, se ha desarrollado el Índice Biológico Andino (ABI) aplicado a ríos tropicales de altura entre 2.000 y 4.000 msnm (nieves perpetuas), en función de la distribución y tolerancia de las familias de macroinvertebrados (Ríos-Touma *et al*., 2014). El índice ABI combina el número de taxones total con un valor de tolerancia/intolerancia a un nivel taxonómico de familia y según su sensibilidad ecológica o capacidad de resistencia a la contaminación se asignan puntuaciones de 1 (tolerantes) a 10 (sensibles). En las zonas andinas existen varias limitaciones ambientales como altitud, cambios en la vegetación o contaminación, lo cual influye en la presencia o no de los distintos taxones; por tal razón, el índice ABI utilizado en el Protocolo CERA, se propone como un método adaptado a esta región.

Uno de los problemas de este índice cualitativo, es su aplicación a diversos hábitats, donde las familias no son similares y su grado de tolerancia a la contaminación no se conoce; incluso los taxones dentro de una misma familia puede tener una respuesta a la contaminación diferente en una zona geográfica respecto a otra (Prat *et al*., 2009). En la actualidad, no se conoce si el ABI es representativo para para ciertos tipos de perturbaciones, como actividad minera, sólidos en suspensión y productos agroquímicos (pesticidas); pero de manera general es un fuerte indicador de la calidad ecológica de las corrientes andinas (Ríos-Touma *et al*., 2014).

En el anexo 3, se indican las puntuaciones del ABI para 42 órdenes o familias de macroinvertebrados presentes en ríos de altura, evaluados en función del BMWP original y sus modificaciones para la Península Ibérica (IBMWP), para Chile (CHBMWP) y Colombia (BMWPPA). El resultado del uso y aplicación del ABI genera 5 categorías de calidad del agua: excelente, bueno, moderado, deficiente y malo (***Tabla 2.5***). Además se puede calcular la Puntuación media Andina por taxón (AASPT), dividiendo el ABI por el número de taxones (Ríos-Touma *et al*., 2014).

Tabla 2.5 Criterios de valoración de Estado Ecológico utilizando el ABI

CLASE	CALIDAD	ABI	SIGNIFICADO	COLOR
I	Muy Buena	> 96	Aguas muy limpias, no alteradas.	Azul
II	Buena	59 – 96	Aguas ligeramente contaminadas.	Verde
III	Moderada	35 – 58	Aguas contaminadas, dudosas	Amarillo
IV	Mala	14 – 34	Aguas muy contaminadas, críticas	Naranja
V	Pésima	< 14	Aguas severamente contaminadas	Rojo

FUENTE: (Acosta *et al*., 2009; Ríos-Touma *et al*., 2014)

ELABORACIÓN: Soria, I; 2016

2.3.1.2. Índice de calidad del Hábitat Fluvial (IHF)

El índice de hábitat fluvial (IHF), desarrollado en el proyecto GUADALMED (Jáimez-Cuéllar *et al*., 2002), pretende valorar la capacidad del hábitat físico para albergar una fauna determinada; considerando que, a mayor heterogeneidad y variedad de estructuras físicas del hábitat, le corresponde una mayor diversidad de las comunidades biológicas, pues suministra espacio físico y alimento (Pardo *et al*., 2002). La modificación de la vegetación de ribera, el cambio de uso del suelo y los efectos en la hidrología del cauce, reducen la calidad del hábitat fluvial y por ende, el funcionamiento del ecosistema (Elosegi & Sabater, 2009).

El IHF se compone de 7 apartados, en los que se valora de forma independiente la presencia de los diversos componentes del cauce fluvial (***Anexo 5***) (Pardo *et al*., 2002; Agència Catalana de l'Aigua, 2006), los cuales son:

- Inclusión de rápidos.- Se contabiliza el grado en que las partículas del sustrato están fijadas en el lecho del río; la inclusión se mide aguas arriba y en la parte central de rápidos y zonas de piedras donde no exista sedimentación de partículas.
- Frecuencia de rápidos.- Se estima el promedio de la aparición de rápidos en relación a la presencia de zonas más remansadas. A mayor frecuencia de alternancia entre rápidos y pozas, mayor diversidad de hábitats.

- Composición de sustratos.- Se realiza una estimación visual considerando el diámetro de la partícula: bloques y piedras: > 64 mm, cantos y gravas: 2 – 64 mm, arena: 0,6 – 2 mm, limos y arcillas: < 0,6 mm.
- Regímenes de velocidad y profundidad.- Se considera una profundidad de 0,5 m para distinguir entre profundo o somero y una velocidad de 0,3 m/s para separar rápido de lento.
- Porcentaje de sombra en el cauce.- Se estima de forma visual, pues influye en el desarrollo de productores primarios.
- Presencia de elementos de heterogeneidad.- Sea hojarasca, troncos, raíces y diques naturales.
- Cobertura de vegetación acuática.- Se incluyen a los productores primarios, como: Plocon o briófitos (organismos fijados al sustrato por un extremo, en muchos casos desprendidos y flotando), Pecton o perifiton (adheridos al sustrato, formando una almohadilla compacta sobre el fondo) y Fanerógamas (se incluyen musgos y hepáticas). En los ríos de páramo ecuatoriano, la vegetación sumergida está compuesta por sólo dos especies cosmopolitas (Myriophyllum quítense y Potamogeton paramoanus); en cambio, la vegetación semiacuática es más diversa con géneros como Isoetes, Lilaea, Callitriche, Ranunculus, etc (Maldonado *et al*., 2011).

La puntuación final del IHF corresponde a la suma de los valores de cada apartado y no puede ser superior a 100. De manera general un IHF menor a 40, indica serias limitaciones de calidad del hábitat para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, el valor óptimo es superior a 75 (Acosta *et al*., 2009). Se establecieron tres rangos de calidad de acuerdo a la DMA:

Tabla 2.6 Rangos de calificación según el Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

CLASE	VALOR IHF	NIVEL DE CALIDAD	COLOR
I	> 60	Muy Buena (Adecuado)	Azul
II	40 - 60	Bueno (con limitaciones)	Verde
III	<40	No llega a la buena	Rojo

FUENTE: (Pardo *et al*., 2002; Villamarín, 2008)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

2.3.1.3. Índice de la calidad de la vegetación de ribera Andina (QBR-And)

Las riberas son zonas adyacentes al cauce del río, influenciadas funcional y estructuralmente por éste; albergan una compleja comunidad biológica, debido a diversas variables de su configuración física, como: fluctuación del caudal, procesos geomorfológicos (permeabilidad del suelo), topografía, uso del suelo, cambios altitudinales, tamaño del canal del río, y ecotono de transición entre el sistema terrestre y acuático (Oleas, Ríos-Touma, Peña, & Bustamanate, 2016).

La vegetación de ribera es un componente de conexión lateral en el río que posee una gran importancia ecológica, ya que, proporciona sombra al cauce, regula la temperatura del agua, es una fuente de ingreso de materia orgánica o material alóctono al río, previene la erosión de los márgenes del sistema y crea nuevos hábitats para la diversidad biológica. Además, junto con la llanura de inundación, actúa como filtro (retiene y recicla) de la contaminación difusa, sedimentos o nutrientes y ofrece protección frente a eventos extremos (avenidas). Cabe señalar que, la vegetación de ribera funciona como un corredor biológico y zona de reserva para flora y fauna (Elosegi & Sabater, 2009); sin embargo, al ser heterogénea y compleja, no es comparable a lo largo del Continuum del río (Munné *et al*., 2003).

Para evaluar la vegetación de ribera, se desarrolló un índice en el Protocolo GUADALMED, denominado QBR (Calidad del Bosque de Ribera), el cual, consta de 4 apartados con una ponderación de 25 puntos cada uno, de los cuales se obtiene una calificación de 100 puntos (Prat *et al*., 1999). Los apartados son:

- Grado de Cubierta de la Ribera.- Se contabiliza el porcentaje de cubierta de toda la vegetación excepto plantas de crecimiento anual, considerando la conectividad con el ecosistema adyacente.
- Estructura de la Cubierta.- Porcentaje de recubrimiento y estratificación de la vegetación, está en función del anterior apartado.
- Calidad de la Cubierta.- Se evalúa el tipo geomorfológico de ribera en cada orilla y se contabiliza las especies autóctonas e introducidas.
- Grado de Naturalidad del Canal Fluvial.- Alteraciones antrópicas, como modificación de las terrazas adyacentes al río, construcciones y basura.

Dentro del Protocolo CERA, la evaluación de la calidad de ribera, se ha adaptado con ciertas modificaciones a la zona andina, creando un nuevo índice denominado QBR-And (***Anexo 6***) (Acosta *et al*., 2009); en el cual se analizan tres formaciones de vegetación, teniendo en cuenta la ponderación que se debe realizar a cada una.

Ribera de tipo rocoso.- No permite el desarrollo de una comunidad vegetal, por lo tanto, sólo se aplica el apartado de grado de naturalidad del canal fluvial, si es óptimo, se califica con 25, que equivalen a 100 puntos.

Ribera típica de páramos y punas.- Dado que la vegetación está conformada por pajonal de gramíneas con matorrales bajos y almohadillas, se considera el efecto de quema de pajonal y se excluye el apartado de estructura de la cubierta; además, se analiza la vegetación secundaria y especies introducidas que se desarrollan por las actividades agrícolas o ganaderas. Al evaluarse sólo tres parámetros o apartados, la puntuación máxima de 75 equivale a 100 puntos.

Ribera conformada por una comunidad arbórea y/o arbustiva muy diversa.- Está conformada por bosques relictos de altura, para su evaluación se hacen pocas modificaciones del QBR original, siendo la principal diferencia la calidad de la cubierta, que se estima mediante el porcentaje de la cubierta vegetal representado por especies autóctonas e introducidas.

Existen 5 clases de calidad según la puntuación de la vegetación de ribera andina (QBR-And), las cuales se detallan en la Tabla 2.7:

Tabla 2.7 Valoración de calidad de la vegetación de ribera (índice QBR-And)

CLASE	QBR-And	NIVEL DE CALIDAD	COLOR
I	≥ 96	Vegetación de ribera sin alteraciones, estado natural.	Azul
II	76-95	Vegetación ligeramente perturbada (calidad buena).	Verde
III	51-75	Inicio de alteración importante (calidad intermedia).	Amarillo
IV	26-50	Alteración fuerte (mala calidad).	Naranja
V	≤ 25	Degradación extrema (calidad pésima).	Rojo

FUENTE: (Acosta *et al*., 2009)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

2.3.1.4. Determinación de la Calidad ecológica de ríos andinos (ECOSTRIAND)

A partir del índice ECOSTRIMED, desarrollado en el proyecto GUADALMED (Jáimez-Cuéllar *et al*., 2002), se puede valorar de forma global la calidad ecológica del sistema acuático, en función de la vegetación de ribera, el hábitat fluvial y la comunidad de macroinvertebrados. El protocolo CERA adaptó este índice a la zona andina, dando como resultado un índice denominado ECOSTRIAND (ECOlogical STatus RIver ANDean) (Acosta *et al*., 2009). Para complementar, los datos físico – químicos aportan información de calidad del agua, sean parámetros in situ (pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura) o analizados en el laboratorio (sólidos en suspensión, nutrientes, o contaminantes específicos) (Prat *et al*., 1999).

Para el cálculo del ECOSTRIAND, se requiere valorar las características hidromorfológicas del cuerpo de agua (IHF y QBR-And). Si el IHF es superior a 40 puntos, se puede asegurar que el índice ECOSTRIAND, no va a ser influenciado por la falta de heterogeneidad del hábitat, lo cual puede ser tan limitante como la calidad físico-química (Acosta *et al*., 2009). El valor más importante para el ECOSTRIAND es el componente biológico, pues no puede existir un río con buen estado ecológico, si la diversidad biológica es baja, a pesar de que la ribera esté en buenas condiciones (Prat *et al*., 1999). En la Tabla 2.8 se presentan las categorías de calidad del ecosistema fluvial según el ECOSTRIAND:

Tabla 2.8 Estado Ecológico según el índice ABI y QBR-And (ECOSTRIAND)

CLASE	ABI	QBR – And		
		> 75	45 – 75	< 45
I	> 96	Muy bueno	Bueno	Regular
II	59 – 96	Bueno	Regular	Malo
III	35 – 58	Regular	Malo	Pésimo
IV	< 35	Malo	Pésimo	Pésimo

FUENTE: (Acosta *et al*., 2009)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Existe gran cantidad y variabilidad de ríos de páramo en la Reserva Ecológica Antisana (REA); según su nacimiento, pueden ser riachuelos de vertientes de aguas subterráneas, de escorrentía superficial y de deshielos de glaciares; los cuales al unirse generan una diversidad de hábitats con características especiales. La investigación se llevó a cabo en el río Jatunhuayco, alrededor de la captación de agua potable manejada por la EPMAPS (***Mapa 3.1***); este río perenne de cuenca (escorrentía superficial) se forma cuando la precipitación supera a la evaporación, por lo tanto tiene una inestabilidad física que depende de la precipitación y escorrentía (Espinoza *et al*., 2010).

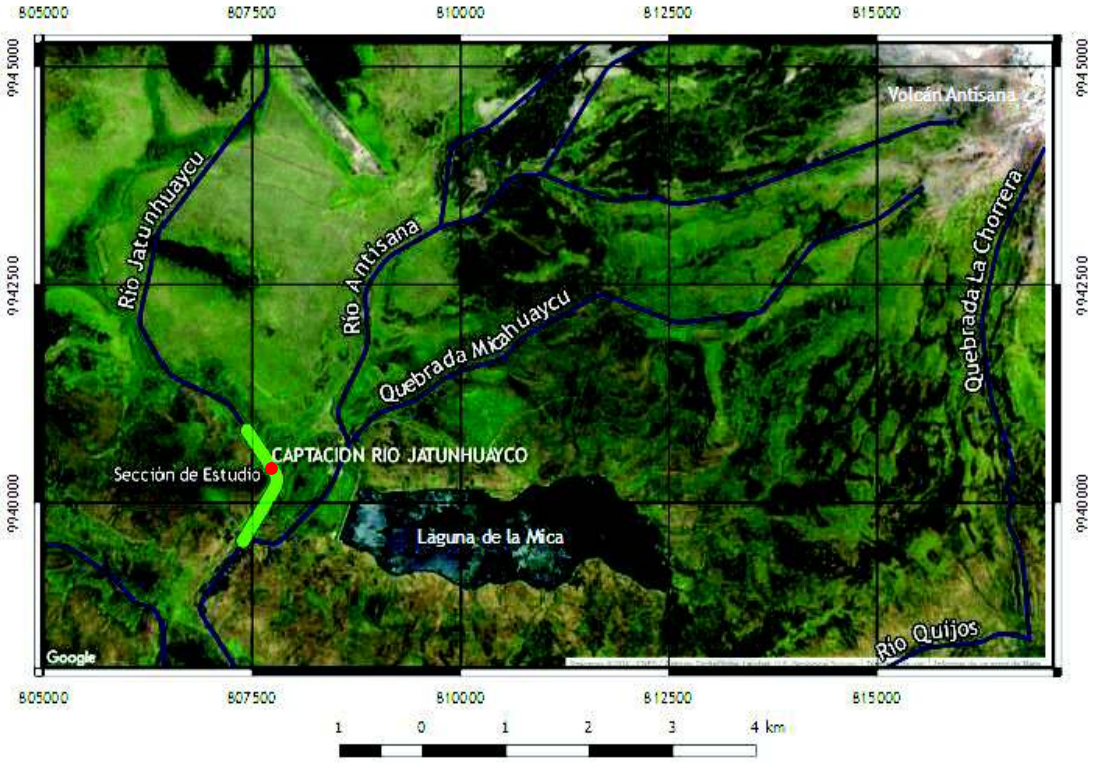
La cuenca o Unidad Hidrográfica Jatunhuayco (UHJ), se encuentra a una altitud media de 4.200 msnm dentro del ecosistema de páramo de la zona de Conservación Antisana (REA); esta microcuenca, junto al nevado Antisana (5.758 msnm) y la laguna La Mica, aportan al sistema de agua potable La Mica – Quito Sur, el cual suministra el servicio a 600.000 habitantes de la zona sur de Quito (1.7 m^3/s), previo tratamiento en la Planta El Troje (FONAG, 2014); los componentes principales son la presa de La Mica y las captaciones de los ríos Antisana Jatunhuayco y Diguchi (Villacís, 2000; EPMAPS, 2015).

3.1. UBICACIÓN

La microcuenca del río Jatunhuayco (UHJ), según de la división política territorial, pertenece a la parroquia Archidona, cantón Archidona y provincia de Napo. Tiene una extensión de 41,43 Km^2 y longitud del cauce de 27,35 Km (densidad de drenaje de 0,66 Km/Km^2) (EPMAPS & FONAG, 2014), en un rango altitudinal que va desde los 3.900 hasta los 4.600 msnm con características particulares según la zona alta, media o baja de la cuenca (Calispa, 2010). Se debe agregar que la UHJ pertenece

a la cuenca del río Antisana y limita al norte con la microcuenca del río Tumiguina, al sur y este con la microcuenca del río Antisana y al oeste con la microcuenca del río Chacauco. (Aguirre & Torres, 2014).

Mapa 3.1 Río Jatunhuayco y sección de estudio



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

3.2. HISTORIA Y SITUACIÓN ACTUAL

El uso de la cuenca Jatunhuayco se remonta al período colonial (1913), cuando los hacendados ocuparon la zona para la crianza de ganado vacuno y ovejas, actividad que se realizaba conjuntamente con la quema del pajonal. El pastoreo intensivo cesó en 1993, al declarar a este territorio como parte de la Reserva Ecológica Antisana. Sin embargo, las consecuencias ambientales del pastoreo intensivo se reflejan hasta la actualidad, porque existen zonas (media y baja de la cuenca) con un suelo compactado, sin vegetación y erosionado, con una superficie degradada

(arenal) de aproximadamente 9 Ha, éste se considera un disturbio grande y continuo en función del tiempo (Aguirre & Torres, 2014).

La microcuenca del río Jatunhuayco es una zona de importancia hídrica para Quito, que históricamente ha sido sometida a diferentes alteraciones naturales y antrópicas, lo cual la convierte en una de las zonas más vulnerables del sistema La Mica – Quito Sur (EPMAPS & FONAG, 2014). Por tal motivo, se han realizado varias investigaciones lideradas por el FONAG, para aplicar procesos de restauración a largo plazo y cuantificar así los diversos impactos, uno de estos programas es el de Recuperación de la Cubierta Vegetal (Aguirre & Torres, 2014), o la valoración del aporte del páramo en la producción hídrica, basados en los costos de oportunidad y de mantenimiento, cuyo resultado es un valor económico del agua de USD 0,01/m^3 en función del páramo (Ansmann, 2000).

Actualmente, cerca del 77 % de la microcuenca del río Jatunhuayco se encuentra en el interior del Predio Antisana – Contadero (manejado por la EPMAPS), mientras que, el 23 % restante pertenece a la hacienda Pullurima (suroeste de la captación Jatunhuayco) (FONAG, 2013). Esto ha generado problemas de contaminación orgánica y la suspensión temporal del uso de agua, debido al pastoreo de ganado vacuno de tierras contiguas que invaden los linderos. A pesar de existir un conflicto legal con el propietario de la hacienda Pullurima, el ganado de toda la microcuenca fue desalojado en 2013 y la SENAGUA emitió una resolución para la construcción de una barrera de protección del área expuesta (EPMAPS, 2013). La zona alta y media de la microcuenca Jatunhuayco está declarada como Zona de Protección Absoluta (intangible) debido a la importancia de los procesos hidrológicos y la vulnerabilidad de esta área; mientras tanto, el sector de más alta prioridad de conservación es el límite con la hacienda Pullurima (EPMAPS & FONAG, 2014).

3.3. CLIMATOLOGÍA

El clima que predomina en la microcuenca Jatunhuayco es el ecuatorial frío de alta montaña, caracterizado por una humedad relativa superior al 90 %. La temperatura media oscila alrededor de los 4 °C y 10 °C, las mínimas alcanzan generalmente

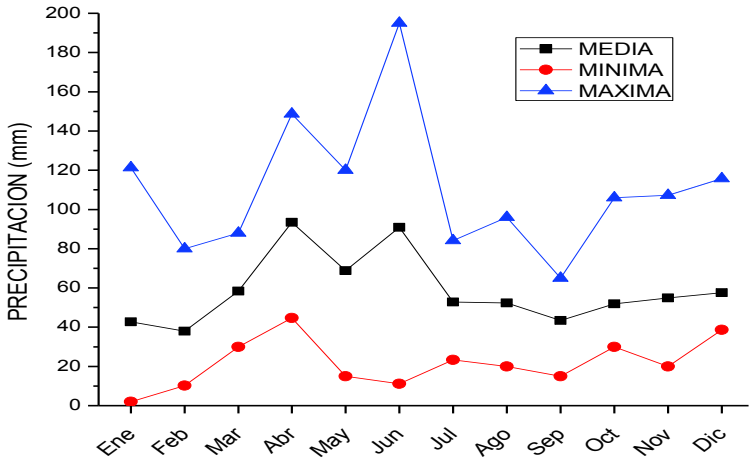
valores de 0 °C, y en pocas ocasiones la temperatura sobrepasa los 20 °C. La precipitación anual es irregular de larga duración y débil intensidad y varía entre 1.250 - 1.600 mm (Aguirre & Torres, 2014).

3.3.1. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Para el análisis de la precipitación se consideró un período de 12 años (1995 – 2007), tomándose como base la estación meteorológica P5 – La Mica (3.930 msnm), al ser la más cercana al sitio de estudio (***Mapa 4.1***) (Pazmiño, 2010). Esta estación tiene datos de precipitación disponibles desde 1984; actualmente dispone de un pluviómetro y un fluviógrafo y es administrada en conjunto por el INAMHI, IRD y EPMAPS-Quito (Cáceres *et al*., 2012).

En el gráfico 3.1 se puede observar la presencia de la estación húmeda entre los meses de abril a junio, con una precipitación media mensual superior a 70 mm y un pico máximo de 200 mm en junio; por otra parte, el período seco se presenta en los meses de enero, febrero y septiembre, cuyos valores son menores a 40 mm. De manera general, existe una variabilidad estacional relativamente baja en la zona.

Gráfico 3.1 Valores mensuales de precipitación (mm) en la estación P5 - La Mica (Período1995 – 2.007)

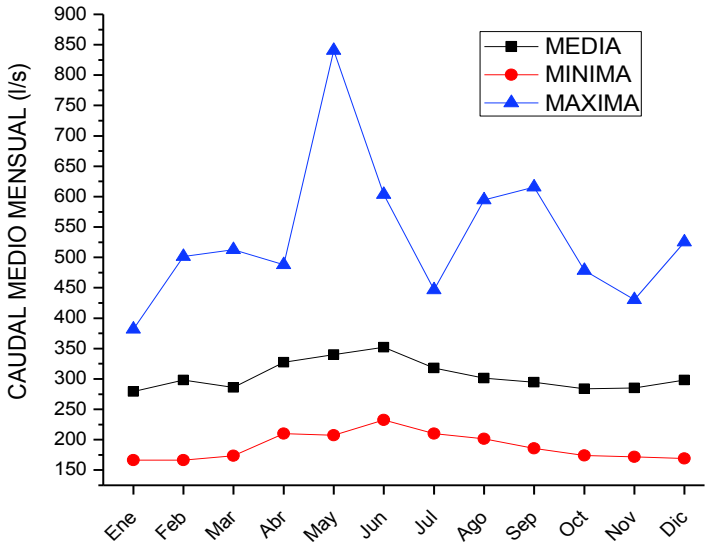


FUENTE: (Pazmiño, 2010)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Por otro lado, la variación de caudales se ha estimado con datos de aforos realizados aguas arriba de la captación, en un período de 29 años (1979 – 2008). La estación de aforo es administrada por la EPMAPS, y se ubica en la zona baja de la cuenca Jatunhuayco (***Mapa 4.1***); los resultados muestran un caudal promedio de 316 L/s con un máximo de 1.251 L/s, hasta valores mínimos de 39 L/s (***Gráfico 3.2).*** Los valores de caudal medio se relacionan con los datos de precipitación media, observándose un patrón de variación temporal similar a lo largo de todo el año, a excepción de los meses de lluvia (abril – junio), lo cual indica un caudal relativamente constante y uniforme. Cabe mencionar que los valores de los caudales máximos presentan incongruencias con la precipitación en los meses de agosto y septiembre, lo cual se relaciona al período de análisis o errores de aforo.

Gráfico 3.2 Valores mensuales de caudal (L/s) en la estación de aforo del río Jatunhuayco aguas arriba de la captación (Período 1979 – 2008)



FUENTE: FONAG, 2016

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

3.4. GEOLOGÍA

El área de estudio presenta una variedad topográfica, con sustratos rocosos y diversas formas de relieve originarios desde la edificación de la Cordillera Oriental de los Andes asociados al vulcanismo, a las condiciones morfo-climáticas y a los

glaciales generados en el Pleistoceno y Holoceno. Además, existen paredes rocosas formadas en el Paleozoico y otras formaciones superficiales del Cuaternario (Ministerio del Ambiente, 2013). Posee suelos jóvenes con horizontes poco diferenciados y ricos en materia orgánica formados por la deposición de cenizas y la meteorización del material parental, es decir, tiene características ándicas, además de los órdenes inceptisol, molisol e histosol. (FONAG, 2014).

3.5. BIODIVERSIDAD

3.5.1. FLORA

La microcuenca del Jatunhuayco posee tres formaciones vegetales naturales: páramo herbáceo, de almohadillas y de pajonal, distribuidas en un rango altitudinal entre 3.900 y 4.600 msnm. (Hofstede *et al*., 2003; Aguirre *et al*., 2014). Se registran un total de 15 familias y 38 especies, de las cuales 11 familias y 17 especies se en encuentran en la zona baja; 11 familias y 25 especies corresponden a la zona media; y 14 familias y 28 especies a la zona alta (Aguirre & Torres, 2014).

Tabla 3.1 Porcentaje de cobertura vegetal de la microcuenca Jatunhuayco

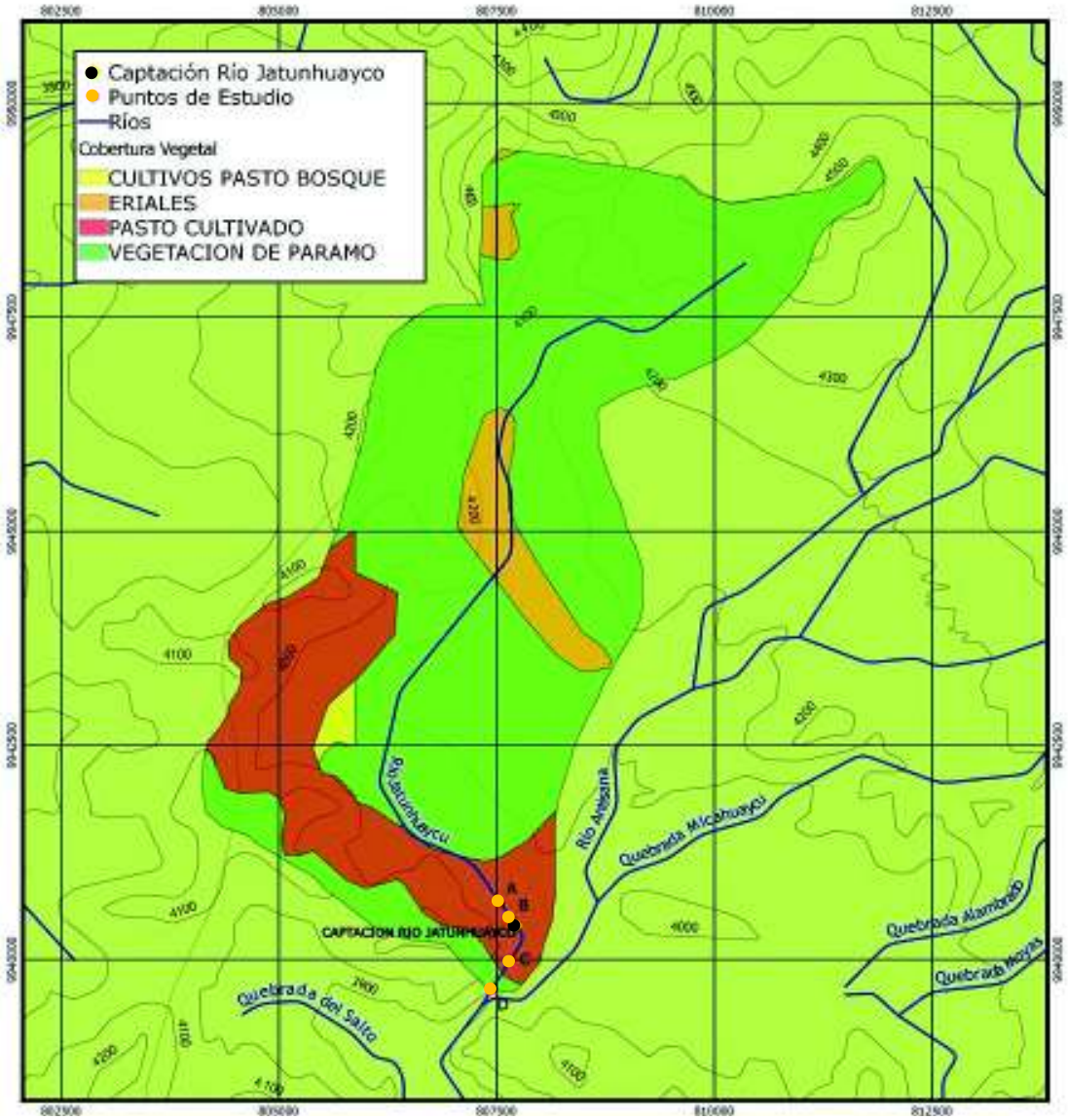
Cobertura Vegetal	Área (Km^2)	Porcentaje (%)
Cultivos, pasto y bosque	0,309	0,75
Eriales (terrenos no aprovechables)	2,375	5,80
Pasto cultivado	8,216	20,08
Vegetación de páramo	30,01	73,35
TOTAL	40,91	100

FUENTE: (FONAG, 2016; Calispa, 2010)
ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Según la cartografía de la cobertura de vegetación y uso de suelo, proporcionada por el FONAG, la microcuenca Jatunhuayco se compone de vegetación de páramo, cultivos, bosques, pastos cultivados y eriales (no aprovechable); a fin de realizar una mejor caracterización de la cuenca, en la Tabla 3.1 se detalla el área y el

porcentaje de cada grupo. Se puede observar que en la zona de estudio, alrededor de la captación Jatunhuayco, la cobertura vegetal es de pasto cultivado en su mayoría, a excepción de los puntos C y D, cercanos a la confluencia con el río Antisana, donde existe vegetación de páramo (***Mapa 3.2***).

Mapa 3.2 Cobertura vegetal de la microcuenca Jatunhuayco y puntos de estudio



FUENTE: FONAG, 2016

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

3.5.2. FAUNA

Con respecto a la fauna, existen los mismos animales que en la Reserva Ecológica Antisana, que tiene un registro de 552 especies de vertebrados. El grupo más estudiado y representativo en términos de abundancia son las aves, con 418 especies, seguido por mamíferos con 73 especies, anfibios y reptiles con 61 especies (Ministerio del Ambiente, 2013). Entre los principales animales se puede destacar a la lagartija de páramo, ranita de páramo, cóndor andino, curiquingue, gavilán, bandurria, pato andino, gaviota de altura, oso de anteojos, venado cola blanca, lobo andino, puma y conejo de páramo (EPMAPS & FONAG, 2014).

3.5.3. ZONIFICACIÓN DE LA MICROCUENCA JATUNHUAYCO

Según el estudio de (Aguirre & Torres, 2014), se han determinado tres zonas con características diferentes en la microcuenca Jatunhuayco:

Zona Baja: se encuentra entre los 3.900 - 4.100 msnm con una pendiente entre 0 y 10 %. La formación vegetal según (Sierra, 1999) es: páramo de almohadillas y páramo pajonal. Es la zona más degradada con ganadería intensiva.

Zona media: se encuentra entre 4.101 – 4.300 msnm, con una pendiente de 10 y 30 %. La presencia de hierbas, gramíneas en penachos y arbustos, indica que la zona tiene un nivel medio de degradación.

Zona alta: se encuentra sobre los 4301 m.s.n.m., con pendientes entre 10 a 30 % y mayores a 30 %. Es la zona más conservada de la cuenca pues no existe ganadería. Se observa hierbas, gramíneas en penachos y arbustos (pajonal).

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Figura 4.1 Marco conceptual de trabajo

La Metodología de la investigación se basa en el siguiente marco conceptual de trabajo, el cual detalla el procedimiento ejecutado (***Figura 4.1***):

- **Revisión bibliográfica y planificación del muestreo**

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica referente a los ecosistemas acuáticos altoandinos, el uso de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua y las herramientas de evaluación de la calidad ecológica para ríos altoandinos. Se obtuvo información para la descripción del sitio de estudio, como cartografía de la microcuenca Jatunhuayco proporcionada por el FONAG, así como los datos hidrometeorológicos por temporadas anuales de precipitación (estación meteorológica P5 – La Mica) y caudal (estación de aforo manejada por la EPMAPS). Además, se realizó una visita previa a la zona para seleccionar los puntos de muestreo y tramos de estudio (aguas arriba y abajo de la captación Jatunhuayco).

- **Levantamiento de información en campo**

En la etapa experimental de trabajo se realizó el muestreo de macroinvertebrados (red Surber) y el análisis de las características hidromorfológicas (índices IHF y QBR-And), físico – químicas de calidad del agua (in situ y muestreo para su posterior análisis) y la medición de caudal (micromolinete) de los puntos alrededor de la captación. Se efectuaron dos campañas de muestreo (Octubre 2015 y Enero 2016) para corroborar la información obtenida.

- **Análisis de laboratorio y tratamiento de muestras**

Los análisis físico - químicos de las muestras de calidad del agua (Contenido de Sólidos, Nitratos, Fosfatos, Nitrógeno Amoniacal y Coliformes fecales) fueron realizados en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Además, se realizó la separación, identificación y cuantificación de macroinvertebrados a nivel taxonómico de familia, con la ayuda de un estéreo-microscopio.

- **Procesamiento de datos y análisis de resultados**

Siguiendo el Protocolo CERA (Calidad Ecológica de ríos Andinos), se calcularon los índices ABI, IHF y QBR-And de cada punto de muestreo para dar una valoración de la calidad ecológica global mediante el índice ECOSTRIAND. Además, se realizó un análisis de la estructura, composición y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados en los puntos antes y después de la captación.

4.1. METODOLOGÍA DE MONITOREO

El estudio de la Ecología de ríos brinda información acerca de las características físico-químicas del agua, del tipo de flora y fauna acuática asociadas y las condiciones hidromorfológicas del cauce (Espinoza *et al*., 2010); para lo cual es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Definir el estado natural o de referencia del cuerpo de agua.
- Seleccionar el área y estaciones de monitoreo, según los tipos de hábitats.
- Determinar la frecuencia de muestreo y variables a ser analizadas.
- Definir los materiales y equipo para la toma de muestras.
- Determinar el tipo de manipulación, procesamiento y evaluación de los datos.

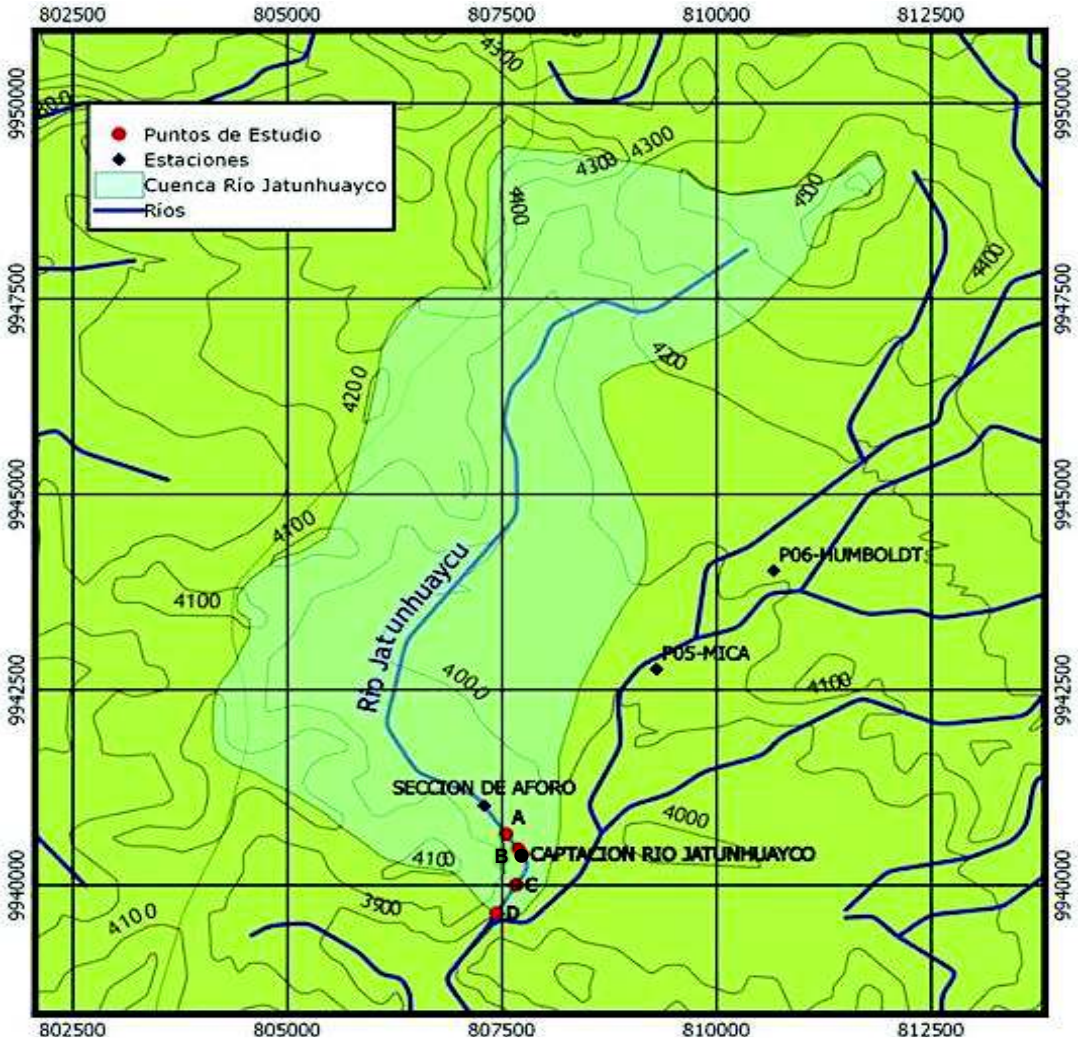
4.1.1. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS MUESTREO

Los sitios de muestreo están distribuidos en la zona baja de la microcuenca Jatunhuayco, alrededor de la captación de agua potable, perteneciente al sistema "La Mica Quito Sur" manejado por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS). Se seleccionaron cuatro puntos de análisis, dos antes de la captación (A y B) y dos después de la misma (C y D) (***Mapa 4.1***), con el fin de evaluar el impacto de la disminución del caudal en las comunidades biológicas y características del sistema fluvial.

Los puntos de muestreo fueron seleccionados en una visita previa a la zona de estudio, realizada el martes 09 de Junio del 2015, en la cual se identificó (nombre, código) caracterizó y georefenció las coordenadas geográficas de las secciones de muestreo (***Mapa 4.1*** y ***Tabla 4.1***), en función de las facilidades logísticas y topográficas, utilizando un GPS marca GARMÍN MAP62. El tramo de río de cada punto fue de aproximadamente 50 metros, observando que albergue los diferentes tipos de sustrato y microhábitat acuático. Además, se analizó y estimó el tiempo de trabajo de muestreo por razones metodológicas y de recursos.

Los muestreos fueron realizados en dos campañas, los días 19, 20 y 21 de octubre del 2015 y posteriormente el 04, 05 y 06 de enero del 2016, consideradas como épocas secas en la zona de estudio, períodos en los cuales se espera encontrar una comunidad más estable y una mayor abundancia de organismos. Las muestras se obtuvieron en la misma zona donde se ha realizado previamente la línea base, luego de un período prudente y necesario, para que los macroinvertebrados vuelvan a colonizar el hábitat, y así restablecer sus condiciones iniciales (Ríos-Touma, 2008).

Mapa 4.1 Puntos de muestreo y estaciones de aforo y meteorológicas



FUENTE: FONAG, 2016

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Para establecer la metodología de evaluación de estado ecológico, es necesario considerar estaciones de muestreo de referencia, en las cuales los efectos antrópicos o ecológicos sean mínimos. Para evaluar una estación de referencia se se siguió el Protocolo CERA, revisando los apartados de cuenca, hidrología, tramo y lecho del río (***Anexo 4***) (Acosta *et al*., 2009). El valor máximo del índice es 120 y el mínimo 24; cabe mencionar, que para que una estación pueda ser considerada como de referencia, debe puntuar más de 100 puntos y obtener como mínimo 20 en cada apartado (Acosta *et al*., 2009). Se evaluaron los 4 puntos alrededor de la captación, dando como resultados una calificación mayor a 112 en todos.

Tabla 4.1 Georeferenciación de los puntos de muestreo y Captación Jatunhuayco

Punto	Código	Longitud E	Latitud N	Altitud (msnm)	Descripción	Fotografía
1	A	807594	9940688	3.935	Zona tipo valle con baja turbulencia, pendiente suave, escasa vegetación de ribera y cauce sin sombra, sustrato con grava y arena.	
2	B	807645	9940433	3.934	Zona tipo valle con sustrato de rocas, grava y arena, mayor turbulencia, mayor vegetación de ribera, pero cauce sin sombra.	
Captación Jatunhuayco	J	807734	9940398	3.921	Captación de tipo rejilla lateral, con una capacidad de 250 $l\ s^{-1}$	
3	C	807675	9940000	3.912	Quebrada con pendiente pronunciada y difícil acceso, alta turbulencia y presencia de mayor cantidad de vegetación de ribera y sombra en el cauce, todo tipo de sustrato y hábitats	
4	D	807390	9939653	3.908	Zona después de un puente, pendiente menor, mayor cantidad de vegetación y sombra en el cauce, presencia de todo tipo de sustratos y hábitats	

FUENTE: Visita de campo 09 de Junio 2015

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

4.1.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO

4.1.2.1. Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF)

La caracterización de la calidad del hábitat (IHF), fue realizada mediante la observación directa del cuerpo de agua y su entorno. Se analizaron aspectos físicos del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitats (***Anexo 5***), como: la frecuencia de rápidos, los regímenes de velocidad y profundidad, la diversidad del sustrato, la presencia de elementos que contribuyen a incrementar la variabilidad del medio físico y las fuentes alimenticias, entre ellos materiales de origen alóctono (hojas, madera) y de origen autóctono (productores primarios) (Pardo *et al*., 2002). El IHF original se aplica sin mayores cambios a la zona andina, debido a que las características físicas del hábitat fluvial de todos los apartados son similares en ríos de altura. Sin embargo, se deben hacer ciertas aclaraciones, ya que, en los ríos de páramo la cobertura vegetal de ribera es escasa, por lo cual, estas zonas están expuestas a la radiación solar (Acosta *et al*., 2009). De igual forma, los elementos de heterogeneidad (hojarasca, troncos), están en función de la vegetación de ribera, como se puede observar en la Fotografía 4.1, tomada aguas abajo de la captación.

Fotografía 4.1 Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF)

FUENTE: Soria, I., 2015

El área de observación para la evaluación del hábitat fluvial fue seleccionada en un tramo de río de 50 metros aproximadamente en cada punto de muestreo, en sitios donde sea posible apreciar con facilidad el sustrato y las características del canal. La evaluación fue realizada siguiendo la guía del Anexo 5 del presente documento, valorando en cada bloque la presencia de los parámetros indicados, no su ausencia, para su posterior análisis según la Tabla 2.6.

4.1.2.2. Evaluación de la calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And)

El QBR-And es un índice de aplicación rápida y sencilla, que integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable, y los utiliza para evaluar la calidad ambiental de las riberas (Agència Catalana de l'Aigua, 2006). Para el trabajo de campo, en cada punto de monitoreo fue identificado un tramo de río de 50 m aproximadamente, que posea una diversidad de riberas representativa; considerando los diversos factores morfológicos y antrópicos de ambas márgenes del río. Cada apartado del QBR-And fue evaluado de forma independiente, siguiendo el protocolo para riberas de páramos, punas y pajonales del Anexo 6.

Fotografía 4.2 Vegetación de ribera del río Jatunhuayco antes de la captación

FUENTE: Soria, I., 2015

En la evaluación, se pudo diferenciar notoriamente la vegetación de ribera de los puntos ubicados alrededor de la captación, pues el factor de la pendiente y morfología del cauce, afectan la distribución y desarrollo de la zona ribereña (***Fotografía 4.2 y 4.3***).

Fotografía 4.3 Vegetación de ribera del río Jatunhuayco luego de la captación

FUENTE: Soria, I., 2015

Previo a la aplicación del índice QBR-And, se revisó información base de las especies vegetales autóctonas e introducidas y de vegetación secundaria que crece como consecuencia de la actividad ganadera o agrícola en las zonas de páramo, siguiendo las guías de Aguirre & Torres, (2014); MECN-INB, (2015); Sierra, (1999); Beltrán *et al*., (2009). Una vez analizados todos los apartados del índice QBR–And, se procedió a dar la valoración del estado ecológico según la Tabla 2.7.

4.1.2.3. Medición de variables fisicoquímicas del agua

Paralelamente, para conseguir una mejor apreciación sobre el estado de salud del cuerpo de agua en torno a su calidad físico-química, se midió in situ las condiciones térmicas del agua, la conductividad, los sólidos totales disueltos y el oxígeno disuelto (concentración y porcentaje de saturación) utilizando un medidor portátil Multiparámetro Oakton (modelo 650). Además, para la medición de pH, se utilizó

un pH-metro de campo marca ACCUMET del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) de la EPN (***Fotografía 4.4***). Los equipos fueron previamente calibrados en campo, antes la toma de datos, además, el medidor Multiparámetro Oakton incluye una compensación automática de temperatura y altitud para compensar el efecto de estas variables.

Fotografía 4.4 Medición de parámetros de calidad del agua in situ

FUENTE: Soria, I., 2015

Fotografía 4.5 Muestreo para análisis de calidad del agua

FUENTE: Soria, I., 2015

Para complementar, se tomaron muestras simples en cada punto de estudio para su posterior análisis en el LDIA, considerando los siguientes parámetros: nutrientes (nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos), concentración de sólidos y coliformes fecales (***Fotografía 4.5***). En la Tabla 4.2, se presenta los métodos de muestreo utilizados, así como la duración de cada muestra, las cuales se ubicaron en cooler con hielo a una temperatura entre 4 y 10 ºC para su preservación y transporte al LDIA. Para finalizar, los análisis de laboratorio fueron realizados siguiendo los métodos basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y los procedimientos establecidos en el manual HACH, proporcionados por el LDIA.

Tabla 4.2 Técnicas de muestreo de calidad del agua

<table>
<tr><th>Parámetro</th><th>Recipiente</th><th>Volumen mínimo (ml)</th><th>Preservación</th><th>Duración de la muestra</th></tr>
<tr><td>Coliformes fecales</td><td>Funda Estéril</td><td>100</td><td rowspan="6">Refrigerar a 4 °C</td><td>8 h</td></tr>
<tr><td>Nitrógeno Amoniacal</td><td rowspan="5">Plástico</td><td rowspan="5">1000</td><td>28 d</td></tr>
<tr><td>Nitratos</td><td>24 h</td></tr>
<tr><td>Fosfatos</td><td>48 h</td></tr>
<tr><td>Sólidos Totales</td><td>24 h</td></tr>
<tr><td>Sólidos Suspendidos</td><td>48 h</td></tr>
</table>

FUENTE: (American Public Health Association, 1999)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

En resumen, se seleccionaron 12 parámetros significativos de calidad del agua en cada punto de monitoreo (***Tabla 4.3***), tomando en cuenta el tiempo y los costos de análisis, así como los materiales y reactivos.

Tabla 4.3 Parámetros físico químicos de calidad del agua y métodos de análisis

	Parámetro	Expresión	Unidad	Método	Equipo
CAMPO	Potencial Hidrógeno	pH	-	4500-H B	pH-metro ACCUMET
	Temperatura	T	°C	-	Multiparámetro OAKTON PCD 650
	Conductividad	Cond	µS/cm	-	
	Sólidos totales disueltos	STD	mg/L	-	
	Oxígeno disuelto	OD	mg/L	-	
	% de saturación de oxígeno disuelto	% OD	% sat	-	
LABORATORIO	Nitratos	NO_3	mg/L	4500 NO_3-E	Equipo de laboratorio
	Fosfatos	$(PO4)^{3-}$	mg/L	4500 P-E	
	Nitrógeno Amoniacal	NH_3	mg/L	4500 NH_3-B	
	Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	9222 C	
	Sólidos Totales	ST	mg/L	2540 C	
	Sólidos Suspendidos	SS	mg/L		

FUENTE: (American Public Health Association, 1999)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

4.1.2.4. Colecta e identificación de macroinvertebrados

Existen algunas metodologías para realizar el muestreo de macroinvertebrados, según las características físicas del río (***Figura 2.1***). En este caso, luego del muestreo de las variables de calidad del agua, se realizó un muestreo multihábitat al azar de tipo cuantitativo con 9 repeticiones en cada punto, utilizando una Red Surber de 0,09 m^2 (área efectiva de colecta) y 250 µm de ancho de poro, lo cual permitió obtener información de la composición de la comunidad de macroinvertebrados y su densidad (individuos/m^2), siguiendo el siguiente proceso:

1. Seleccionar un área con sustrato uniforme, que permita colocar la red sin inconvenientes. La red debe estar paralela a la corriente, con la manga aguas abajo. Ubicarse del lado que da a la orilla y sostener el marco sumergido pisándolo con un pie.
2. Tomar los elementos del sustrato que se encuentran dentro del marco y lavarlos a contracorriente con las manos o un cepillo suave, revisando que no queden organismos adheridos y que ingresen a la red. Se estandarizó el

tiempo de manipulación para todas las estaciones de muestreo en 3 minutos. Remover la grava y sedimentos hasta una profundidad de 5 cm para provocar la salida de los organismos bentónicos (***Fotografía 4.6***).

Fotografía 4.6 Muestro de macroinvertebrados utilizando la red tipo Surber

FUENTE: Soria, I., 2015

3. Levantar la red y llevarla a la orilla para extraer el material obtenido. Con la mano empujar la manga desde su cara externa y depositar el material en una bandeja o recipiente blanco. Ayudarse de un recipiente con agua para lavar la red y extraer los organismos que hayan quedado adheridos.
4. En la bandeja limpiar la muestra de piedras, troncos y hojas. Tamizar la muestra y depositarla en fundas de sello hermético. Colocar una etiqueta de con los datos del sitio y fijar con alcohol al 95 % ***(Fotografía 4.7***).
5. Con la suma de las 9 repeticiones de diversos sustratos, lavar la red y herramientas utilizadas. Llenar el formulario respectivo y colocar las muestras en un cooler para su transporte al laboratorio. Se colectaron 36 muestras de macroinvertebrados por cada campaña, en total 72 muestras. Además, se tomó información importante relativa a los sitios de muestreo como: fecha, hora, coordenadas geográficas, altitud y condiciones meteorológicas, siguiendo la hoja de campo del Anexo 7.

Fotografía 4.7 Limpieza, separación y preservación de las muestras de macroinvertebrados

FUENTE: Soria, I., 2015

Antes de examinar cada muestra en el laboratorio, se realizó una limpieza y separación de los individuos del sustrato, utilizando una bandeja blanca, pinzas y abundante agua. Posteriormente, en una segunda fase se identifican hasta el nivel taxonómico más específico posible (familia o género) y se cuantifican los individuos de caga grupo, con la ayuda de un estéreo-microscopio (***Fotografía 4.8***). Para la identificación de los organismos se utilizaron las siguientes herramientas de apoyo (claves taxonómicas) referentes a los taxones de macroinvertebrados descritos para Sudamérica y ríos de altura: Roldán, (1989); Prat & Rieradevall, (2011); Domínguez & Fernández, (2009) y Lebrunet *et al*., (2008). Los organismos fueron fotografiados (Anexo 11) y se almacenaron en viales rotulados con alcohol al 70 % en el Instituto de Ciencias Biológicas de la EPN.

Se aplicó la evaluación del estado ecológico, mediante el índice ABI (Índice Biótico Andino), siguiendo las consideraciones o criterios de valoración de la Tabla 2.5 (Ríos-Touma *et al*., 2014). Además, para complementar el análisis, se calculó la diversidad según los siguientes índices (Roldán & Ramírez, 2008; Moreno, 2001):

- Índice de diversidad de especies o de Shannon – Wiener (bits/ind).

$$\boldsymbol{H'} = -\sum_{i=1}^{S}\left(\frac{ni}{N}\right)\ln\left(\frac{ni}{N}\right) \quad \textbf{(4.1)}$$

- Índice de Dominancia de Simpson

$$\boldsymbol{D} = \frac{\sum_{i=1}^{S} \boldsymbol{ni(ni-1)}}{\boldsymbol{N(N-1)}} \quad (\mathbf{4.2})$$

- Índice de riqueza de Margalef

$$\boldsymbol{I} = \frac{\boldsymbol{S-1}}{\boldsymbol{ln\, N}} \quad (\mathbf{4.3})$$

Donde, *(S)* es el número de especies (riqueza específica), *(N)* es el número total de individuos y *(ni)* es el número de individuos por taxón en una muestra de una población.

Fotografía 4.8 Identificación y cuantificación de macroinvertebrados en el LDIA

FUENTE: Soria, I., 2016

Se realizó el análisis de la diversidad beta entre los dos hábitats (antes y después de la captación), siguiendo el concepto de complementariedad, propuesto por Colweel y Coddington (1994), el cual, se expresa en porcentaje y varía desde cero (ambos sitios idénticos) hasta 100 (ambos sitios completamente distintos) (Moreno, 2001). Para este análisis, se obtuvo la riqueza total para ambos sitios combinados y el número de especies únicas, según la Ecuación 4.4:

$$C = \frac{especies\ exclusivas\ de\ un\ sitio}{riqueza\ total\ para\ ambos\ sitios\ combinados} = \frac{S_A+S_B-2V_{AB}}{S_A+S_B-V_{AB}} \quad (4.4)$$

Donde, S_A y S_B son la riqueza de especies de las comunidades A y B, respectivamente y V_{AB} es el número de especies común entre las dos comunidades.

4.1.2.5. Aforo de caudal

Adicionalmente, luego del muestreo físico químico de calidad del agua y recolección de macroinvertebrados en cada punto, se realizó la medición del caudal, profundidad y velocidad de corriente del río, siguiendo el método de vadeo. (***Fotografía 4.9***).

Fotografía 4.9 Aforo de caudales por vadeo utilizando un micromolinete C2 OTT

FUENTE: Soria, I., 2015

Para la obtención de caudales, primero se marcó en un tramo uniforme, accesible y estable, el área trasversal y ancho de cada sección con la ayuda de la cinta métrica y luego se realizó la medición de calados y distancia al margen izquierdo en cada vertical (***Anexo 9*** y ***Figura 4.1***); la velocidad media fue determinada a 0,6 de cada calado (medida desde la superficie libre), debido a que las profundidades del cauce fueron inferiores a 75 cm (Diez, 2011). Para el registro de la velocidad,

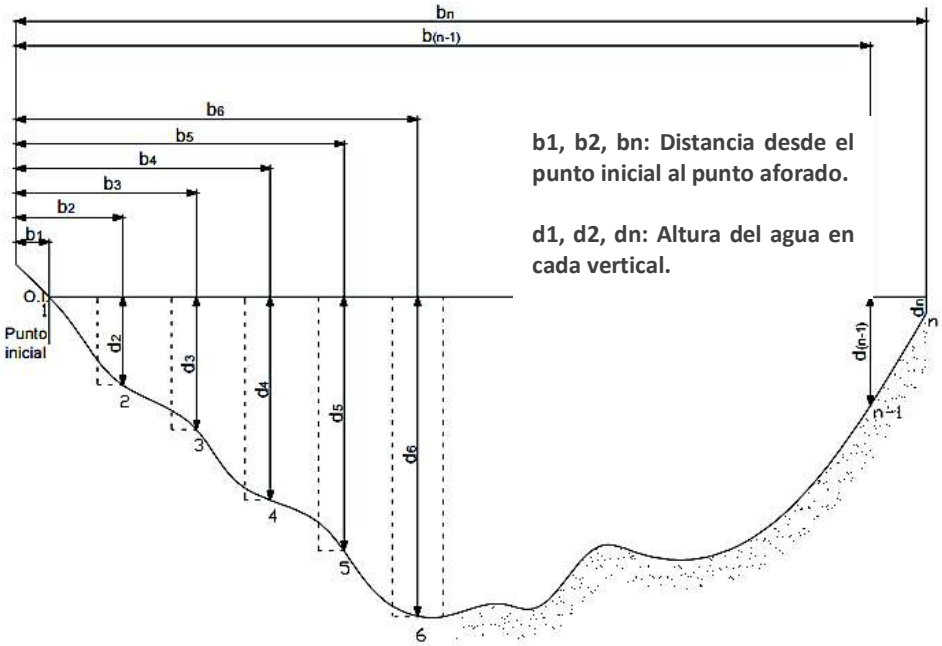
se usó un micromolinete C2 OTT del departamento de Hidráulica de la EPN, que tiene como accesorio un contador digital OTT Z400, el cual calcula automáticamente el número de revoluciones de la hélice utilizada en un tiempo determinado (30 segundos). Una vez efectuado el cálculo del número de revoluciones por segundo (*n*), se procedió a determinar la velocidad de la corriente utilizando la Ecuación 4.5, suministrada por el instrumento según el número de hélice usada (número 5).

$$\boldsymbol{v = (0.255 * n) + 0.005 \ [m/s]} \quad (\mathbf{4.5})$$

Para calcular el caudal (Q_i) se utilizó el método de velocidad – área, que consiste en determinar el área de la sección transversal (m^2) y la velocidad media del agua de cada vertical (m/s), usando la Ecuación 4.6. Según el diagrama de diseño de la sección hidráulica (***Figura 4.1***), el caudal total (Q_T) se obtiene de la sumatoria de los caudales parciales de cada subsección (Q_i):

$$\mathbf{Q_T} = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{a_i * v_i} = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{Q_i} \quad [m^3/s] \quad (\mathbf{4.6})$$

Figura 4.2 Sección transversal para el cálculo del caudal



FUENTE: (Diez, 2011)

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El tramo del río Jatunhuayco (alrededor de la captación), comprende cerca de 1.500 metros; los puntos A y B se ubican a 550 y 200 metros aguas arriba; mientras que los puntos C y D a 400 y 800 metros aguas abajo respectivamente (***Mapa 4.1***). La captación Jatunhuayco tiene una longitud de diseño de aproximadamente 100 metros. Se ubica en un sitio estratégico de transición de gradiente ambiental a escala de paisaje, con características morfológicas particulares en su relieve, topografía, uso de suelo y vegetación de ribera circundantes, lo cual origina hábitats particulares en una distancia corta del tramo de río analizado.

La zona antes de la captación es un valle en forma de U o planicie de origen glaciar rodeada por laderas, con signos de afectación del pastoreo intensivo de los años anteriores; el cauce está expuesto y tiene una topografía suave con pendiente muy leve (0,8 %), pequeños meandros y baja turbulencia; el sustrato dominante es fino y estable. La vegetación de ribera está caracterizada por herbazal de páramo de pajonal, con formaciones de rosetas acaulescentes, penachos de gramíneas, almohadillas y alfombras; no existe vegetación arbustiva (Mena *et al*., 2011).

Sin embargo, aguas abajo y a corta distancia de la obra hidráulica, el paisaje se vuelve más complejo. El río forma una quebrada estrecha y abrupta de difícil acceso (punto C), acumulándose así depósitos de rocas, bloques y todo tipo de sustrato; la pendiente es más pronunciada (3,3 %), con menor sinuosidad del cauce, dando lugar a pequeños diques o cascadas. La vegetación de ribera es compleja y proporciona mayor sombra al cauce, con formaciones vegetales similares a la zona superior, además de arbustos erectos, hierbas perennes rastreras y trepadoras; no se observan efectos del pastoreo intensivo en esta zona.

5.1. COMPOSICIÓN DE LA FAUNA DE MACROINVERTEBRADOS

Se procesaron taxonómicamente 72 muestras colectadas en el tramo del río Jatunhuayco (alrededor de la captación), en el que se totalizaron 14.678 macroinvertebrados, con una densidad de 2.265 ind/m^2. El muestreo se realizó durante dos campañas, la primera los días 19 y 20 de octubre del 2015, con 4.766 individuos (1.470 ind/m^2) y posteriormente del 04 al 06 de enero del 2016 con un total de 9.912 macroinvertebrados (3.059 ind/m^2). De los individuos colectados fue posible identificar 14 órdenes, 27 familias y 29 géneros, distribuidos en 18 taxones de insectos y 9 taxones de no insectos (***Tabla 5.1*** y ***Anexo 8***).

Tabla 5.1 Contribución de los grupos taxonómicos de insectos y no insectos

No Insectos	# de taxones	%	Insectos	# de taxones	%
Gordioidea	1	0,07	Ephemeroptera	1	0,57
Turbellaria	1	3,73	Hemiptera	1	0,01
Oligochaeta	1	3,27	Coleoptera	3	5,72
Hirudinea	1	0,31	Trichoptera	7	17,53
Bivalvia	1	0,10	Diptera	6	47,85
Arachnida	1	0,03			
Melacostraca	1	20,79			
Entognatha	2	0,02			
TOTAL	**9**	**28,32**		**18**	**71,68**

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

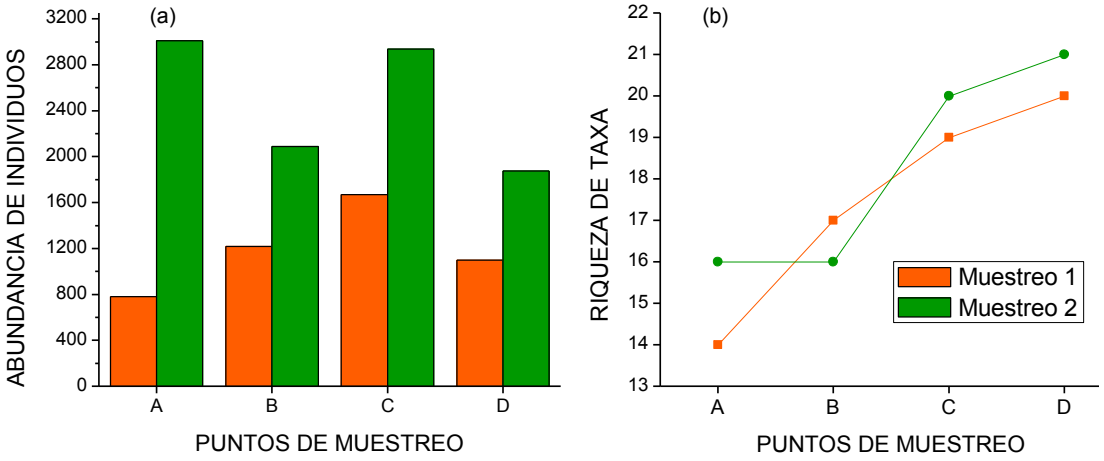
Los insectos son los más representativos, con 71,68 % del total de individuos recolectados, y dentro de los mismos, los órdenes más importantes fueron Díptera (47,85 %) y Trichoptera (17,53 %) con 6 y 7 familias respectivamente; el resto de órdenes presentó entre 3 y 1 taxón. Además, existen familias cuya presencia es esporádica y reducida, pues se contabilizan sólo con uno o dos individuos muestreados, como es el caso de Sminthuridae, Mesoveliidae, Limnichydae, Hellicopsychidae y Poduridae. Por otro lado, Chironomidae (Díptera) fue la familia más abundante con el 45,9 %, seguida por Hyallelidae con el 20,8 %, Limnephilidae con 8,3 %, Glossosomatidae y Elmidae con 5,5 %; entre estas 5 familias suman el 86,03 % de todos los individuos observados. (***Anexo 8***).

La fauna acuática del río Jatunhuayco en los puntos muestreados, exhibe una proporción considerable de taxones No-insectos (28,3 %) (***Tabla 5.1***), con resultados similares a los reportados por Jacobsen (2008) para ríos de altura.

5.1.1. ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS Y RIQUEZA DE ESPECIES

Los valores de abundancia y riqueza de especies (***Gráfico 5.1***) varían significativamente para cada punto entre las dos campañas de muestreo. De manera particular se observó que la mayor abundancia se dio en el punto A durante el segundo muestreo, con 3.011 individuos, de los cuales 1.485 fueron Chironomidos (49,32 %); por el contrario, en el primer muestreo este fue el punto menos abundante con 781 individuos.

Gráfico 5.1 Distribución de la abundancia de individuos (a) y riqueza de taxones (b) en cada punto de muestreo



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

En el primer muestreo, se puede observar un patrón de incremento de la riqueza de taxones a nivel de familia, desde el punto A hasta el punto D (***Gráfico 5.1–b***), con 14 familias registradas inicialmente (punto A), hasta un total de 20 en el punto D, siendo éste el más diverso, aunque con familias representadas por apenas 1 individuo. En cambio, la abundancia de individuos se incrementa hasta el punto C, y luego disminuye en el punto final de muestreo (***Gráfico 5.1–a***).

En el segundo muestreo, se mantiene el modelo de incremento de la riqueza de taxones, contabilizándose inicialmente 16 familias (punto A y B), hasta un total de 20 y 21 (puntos C y D) (***Gráfico 5.1–b***). Por otra parte, se registró mayor cantidad de individuos que el muestreo inicial, siendo el punto A, el de mayor abundancia, a diferencia del resto de puntos (B, C y D), que mantienen el mismo patrón de variación (***Gráfico 5.1–a***).

Tabla 5.2 Familias de macroinvertebrados más abundantes (%) y frecuentes

A	%	B	%	C	%	D	%
Chironomidae	54,8	Chironomidae	50,2	Chironomidae	38,5	Chironomidae	41,5
Hyallelidae	31	Hyallelidae	36,8	Limnephilidae	12,7	Limnephilidae	14,5
Haplotaxidae	6,8	Haplotaxidae	3,2	Glossosomatidae	12,3	Hyallelidae	11,9
Limnephilidae	2,9	Limnephilidae	2,7	Elmidae	12,2	Elmidae	8,3
Planariidae	1,1	Planariidae	1,9	Hydroptilidae	7,1	Planariidae	6,3
TOTAL	**96,5**		**94,8**		**82,9**		**82,5**

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

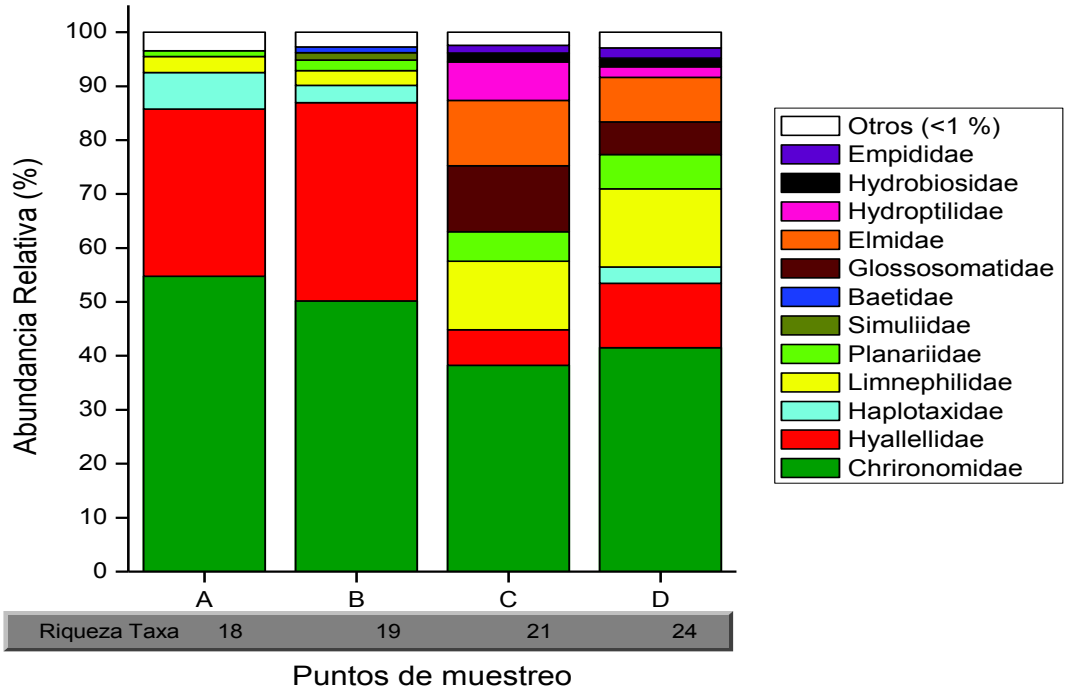
Al comparar los resultados de cada punto durante ambos muestreos, se determinó que la familia con mayor abundancia y representatividad fue Chironomidae. Es importante destacar, la diferencia de la riqueza de taxones y abundancia de macroinvertebrados antes y después de la captación; es así que, en los puntos A y B se observa una similitud de las familias dominantes (Chironomidae y Hyallelidae), las cuales, representan más del 80 % del total de individuos. Mientras tanto, en los puntos C y D se registra un incremento del número de taxones y mayor abundancia de las familias Limnephilidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae y Elmidae, con la respectiva disminución de la densidad de organismos dominantes.

Para complementar el análisis de la composición y estructura de macroinvertebrados registrados en ambas campañas de muestreo, el Gráfico 5.2 muestra las familias más representativas (abundancia relativa mayor a 1 %), registradas en los 4 puntos de monitoreo, además, se indica la riqueza total de taxones en cada localidad. En resumen, en los puntos C y D se observa una mayor variabilidad y heterogeneidad en cuanto a la abundancia relativa de todos los grupos, lo cual indica que es un tramo fluvial más complejo (mayor cantidad y

variedad de hábitats) que aguas arriba de la captación (dominancia de Chironomidae y Hyallelidae).

Los taxones presentes en todos los puntos durante las dos campañas de muestreo fueron Planariidae, Oligochaeta, Hyallelidae, Baetidae, Elmidae, Scirtidae, Glossosomatidae, Limnephilidae, Chironomidae, Simuliidae y Empididae. De este grupo, sólo la familia Hyallelidae disminuye en abundancia aguas abajo de la captación, mientras que los demás taxones incrementan en su representatividad. Según Roldán (2003), la familia Hyallelidae está asociada a materia orgánica en descomposición, donde forman densas poblaciones, aunque también abundan en zonas donde se acumula material vegetal y algas, como en el presente estudio en los puntos A y B. Por otro lado, la familia Chironomidae es la más extensa y ampliamente distribuida y adaptada, se la relaciona con abundante materia orgánica, aunque hay subfamilias que se encuentran en aguas de elevada concentración de oxígeno; motivo por el cual, se requiere de una identificación taxonómica a nivel género para mejorar la información ecológica de este grupo.

Gráfico 5.2 Abundancia relativa y riqueza de taxones por escenario de referencia



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

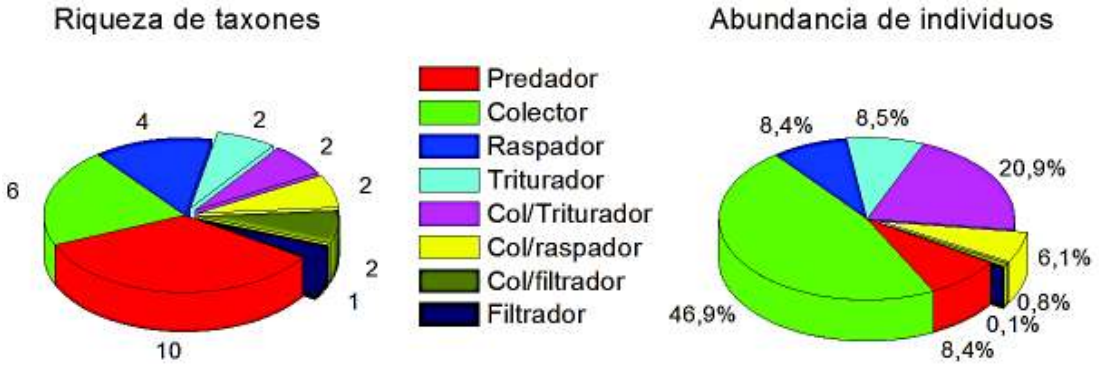
Se realizó el cálculo del índice % EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera) según la abundancia de estos taxones sensibles a las variaciones ambientales (Anexo 8), el índice es menor (4 %) en los puntos aguas arriba de la captación, lo cual refleja el estado de salud ecológica del ambiente acuático; mientras que, aguas abajo la representatividad se incrementa (38 %). El grupo de los tricópteros registró 7 familias, los efemerópteros una, y no se recolectó ningún individuo plecóptero.

5.1.1.1. Grupos de alimentación funcional (GFA)

Es necesario analizar un ecosistema fluvial desde el punto de vista de las funciones que desempeñan los organismos, para lo cual se realizó un análisis de los principales grupos funcionales de alimentación (***Anexo 8***). De acuerdo a los resultados obtenidos por (Jacobsen, 2008; Merritt, Cummins, & Berg, 2008), se pudo diferenciar 8 grupos tróficos que se presentan en el Gráfico 5.3.

En todos los puntos muestreados se puede observar una elevada riqueza de predadores y colectores con 10 y 6 familias respectivamente. Sin embargo, en términos de abundancia de individuos de cada GFA, los colectores (principalmente Chrironominae) y colectores/trituradores (Hyallelidae) son los más importantes. Los raspadores, trituradores y predadores presentan un porcentaje de individuos equitativo, a pesar del mayor número de taxones de predadores. Tanto en riqueza de taxones como en abundancia, los filtradores son los menos representativos.

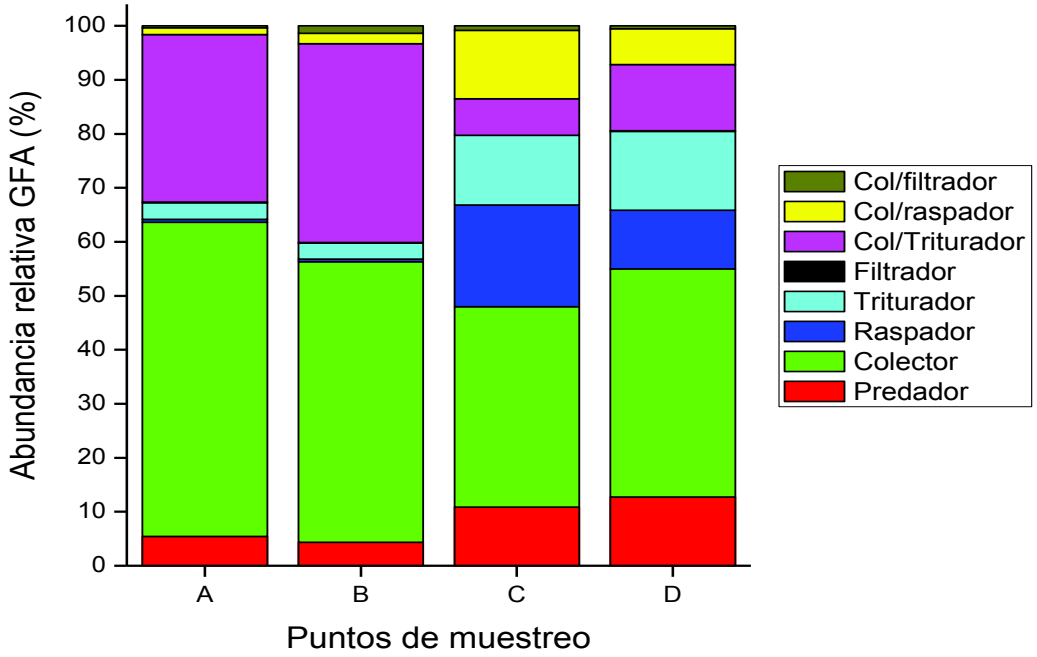
Gráfico 5.3 Abundancia y riqueza de los Grupos de Alimentación Funcional (GFA)



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

En el Gráfico 5.4, se muestra la diversificación de la abundancia de cada GFA en los puntos analizados, con una variación notable alrededor de la captación, según los grupos dominantes reportados en el Gráfico 5.2. En los puntos A y B, los colectores/trituradores (familia Hyallelidae) y colectores (género Chironomus) son los más abundantes; mientras que, en los puntos C y D son reemplazados por un número importante de organismos raspadores, trituradores y colectores/raspadores, además, los predadores presentan un aumento de abundancia, lo cual responde a la complejidad del ecosistema estudiado en cuanto a la diferencia de tipo de sustrato, topografía, caudal y vegetación de ribera de las zonas alrededor de la captación.

Gráfico 5.4 Variación de la abundancia relativa de los GFA



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

A pesar del descenso del caudal, los puntos C y D son los más heterogéneos y diversos en cuanto a la composición y estructura de macroinvertebrados, debido a que, la variabilidad de sustrato y vegetación de ribera, producen mayor número de microhábitats y alimento para el desarrollo de diferentes comunidades tróficas. Por otra parte, los puntos A y B poseen organismos bentónicos dominantes y familias representativas de ciertos grupos tróficos (Chironomidae y Hyallelidae), debido a la

geomorfología de valle de montaña, sustrato poco diverso, materia orgánica y mayor vegetación acuática, con nulidad de sombra en el cauce.

5.1.2. DIVERSIDAD

Para complementar el análisis de las comunidades acuáticas de macroinvertebrados presentes, en la Tabla 5.3 se presentan los resultados de la diversidad alfa de los sitios de estudio, en base a las ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3.

Tabla 5.3 Índices de diversidad en los puntos muestreados

Ítem	MUESTREO 1				MUESTREO 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
S (Riqueza)	14	17	19	20	16	16	20	21
N (Total individuos)	781	1218	1668	1099	3011	2088	2937	1876
H´ (Shannon)	1,08	1,18	1,92	2,04	1,4	1,35	2,33	1,95
H´max (ln S)	2,64	2,83	2,94	2,99	2,77	2,77	2,99	3,04
D (Dom. Simpson)	0,45	0,45	0,2	0,18	0,35	0,36	0,2	0,23
I (Margalef)	1,95	2,25	2,42	2,71	1,87	1,96	2,37	2,65

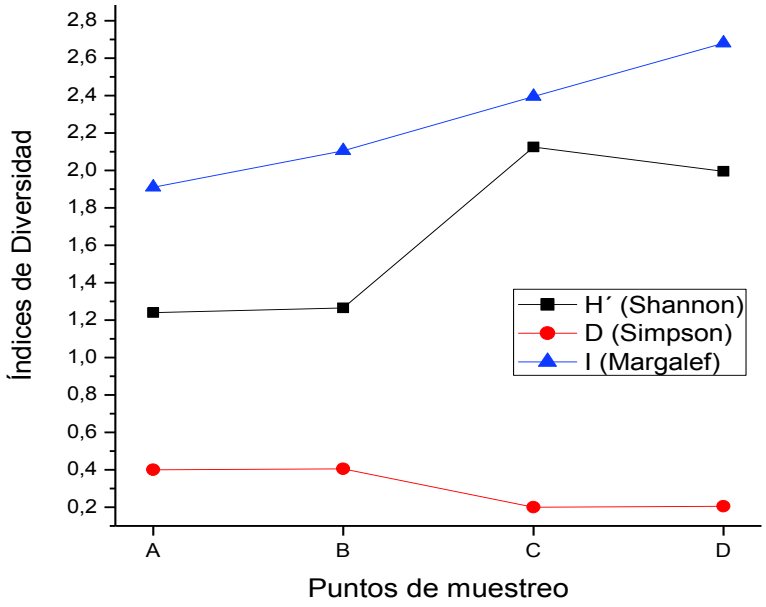
ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

En el Gráfico 5.5, se observa que los valores más bajos del índice de diversidad de Shannon-Weiner se registran en los puntos A y B debido a la abundancia de Hyallelidae y Chrironomidae; por otro lado, luego de la captación el índice es mayor ya que aumenta la riqueza y los individuos se distribuyen homogéneamente entre todas las especies. Para corroborar esta información, se calculó la diversidad máxima (H'max), que se obtendría si la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad fuesen equitativas (Morlans, 2004), observándose que los puntos menos equitativos son los que se ubican antes de la captación. El punto C del segundo muestreo tiene la más alta equitabilidad, debido a la mayor riqueza de taxones y abundancia.

El índice de Dominancia de Simpson varía entre 0 (menor dominancia = diversidad alta) y 1 (mayor dominancia = diversidad baja) (***Gráfico 5.5***) e indica que los puntos antes de la captación tienen mayor dominancia, mientras que los puntos C y D poseen una diversidad alta.

Para relacionar de forma sencilla la riqueza (S) y el número de individuos recolectados, se usó el índice de Margalef (***Gráfico 5.5***); en base al cual, se observa un patrón de incremento de este valor desde el punto A hasta el D en ambos muestreos, lo cual indica que los puntos antes de la captación tienen una diversidad baja y dominancia alta. De la Tabla 5.3 se puede observar que el índice de Margalef es menor en todos los puntos durante el segundo muestreo, lo cual hace referencia a la variación de caudal.

Gráfico 5.5 Variación de los índices de diversidad por escenario de referencia



ELABORACIÓN: Soria, I

5.1.2.1. Índice de Complementariedad (C)

En la Tabla 5.4 se presentan los resultados de la diversidad beta de los sitios de estudio, en base a la Ecuación 4.4. Se observa que durante el muestreo inicial (temporada húmeda), el grado de complementariedad entre los sitios antes y después de la captación es del 42,3 %, es decir, existe mayor diferencia en la composición de organismos, compartiendo apenas 15 especies. Sin embargo, en el segundo muestreo (temporada más seca), se presentó un menor porcentaje de complementariedad (5 %), describiendo una mayor similitud en la composición de macroinvertebrados, cuando se registraron 19 especies compartidas. Este

fenómeno entre los muestreos, se corrobora debido a que en la época seca los organismos tienden a agruparse más fácilmente, por lo tanto, la abundancia y densidad será mayor que durante la temporalidad lluviosa, lo que permite un muestreo con mayor facilidad.

Tabla 5.4 Índice de Complementariedad alrededor de la captación para los muestreos realizados

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2
S_A (antes de la captación)	17	18
S_B (luego de la captación)	24	21
V_{AB} (especies compartidas)	15	19
Complementariedad (%)	42,3	5

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

5.1.3. CÁLCULO DEL ÍNDICE BIÓTICO ANDINO (ABI)

El valor del ABI varía según el número de taxones asociados a la calidad del agua y según la diversidad estructural del ambiente acuático (número de hábitats). Para el cálculo, se tomaron en cuenta 21 familias, es decir se excluyeron 6 del muestreo general (Gordiidae, Poduridae, Sminthuridae, Limnichydae y Mesoveliidae), pues no se consideran dentro de la lista propuesta por Ríos-Touma *et al* (2014) (***Tabla 5.5***). Además, se colectó un solo individuo de la familia Mesoveliidae y un refugio vacío de Helicopsychidae (estuche en espiral), condición que no es representativa para una valoración de la calidad ecológica.

Dentro de los no–insectos, los taxones Turbellaria, Hirudinea y Oligochaeta, tienen una puntuación a nivel de clase debido a la falta de estudios en la zona tropical; en cambio, el grupo de los insectos es el que aporta con los mayores valores de sensibilidad al índice ABI, por ejemplo el grupo EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera); cabe recalcar, que en el muestreo realizado no se encontró ningún individuo de la familia Plecoptera (aunque se sospechaba la presencia del género Claudioperla). En el anexo 11, se presenta una caracterización general de los principales taxones recolectados en el río Jatunhuayco alrededor de la captación, así como la identificación, parámetros ecológicos y fotografías de cada organismo.

Según los criterios de valoración de la Tabla 2.5, el ABI total entre ambas campañas de muestreo, indica una calidad del agua “Buena” (59 – 96) o ligeramente contaminada para todos los puntos analizados; siendo los puntos C y D, los de mayor puntuación (***Gráfico 5.6-a***). De manera general el ABI, se relaciona con la variación de la riqueza de taxones (***Gráfico 5.1-b***) y con la variación de la abundancia relativa de grupos funcionales de alimentación (***Gráfico 5.4***).

Tabla 5.5 Puntuaciones y cálculo del ABI para cada escenario de referencia

CLASE / SUBCLASE	ORDEN	FAMILIA	ABI	MUESTREO 1				MUESTREO 2			
				A	B	C	D	A	B	C	D
Turbellaria	Tricladida	Planariidae	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	3	3	3	3		3	3	3	3
Oligochaeta	Haplotaxida	Haplotaxidae	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	3		3		3	3	3		3
Arachnida	Prostigmata	Hydrachnidae	4			4			4	4	4
Melacostraca	Amphipoda	Hyallellidae	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Ephemeroptera	Baetidae	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Coleoptera	Scirtidae	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		Elmidae	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Trichoptera	Glossosomatidae	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		Leptoceridae	8	8	8	8	8		8	8	
		Limnephilidae	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		Hydroptilidae	6			6	6	6		6	6
		Hydrobiosidae	8			8	8		8	8	8
		Hydropsychidae	5			5					
	Diptera	Chrironomidae	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Simuliidae	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		Empididae	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Tipulidae	5	5	5	5	5			5	5
		Ephydridae	2		2		2				
		Muscidae	2					2		2	2
Riqueza de familias			21	14	16	18	17	15	16	18	18
Indice Biótico Andino (ABI)			**97**	**67**	**72**	**90**	**83**	**65**	**77**	**87**	**82**
Puntuación media Andina por taxón (AASPT)			**4,22**	**4,79**	**4,50**	**5,00**	**4,88**	**4,33**	**4,81**	**4,83**	**4,56**

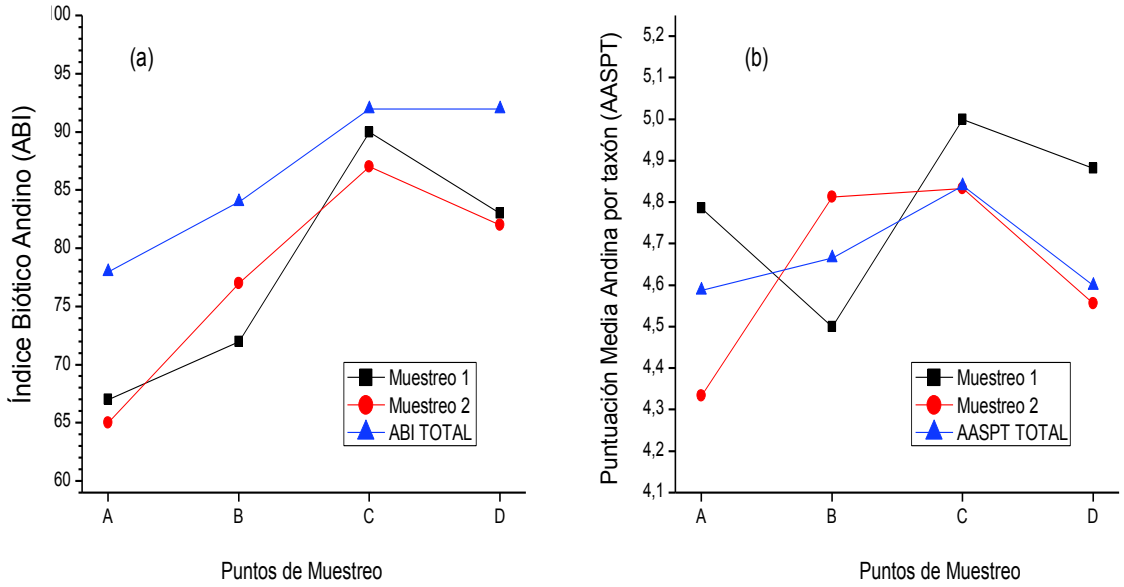
FUENTE: (Acosta *et al*., 2009; Ríos-Touma *et al*., 2014)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

En el Gráfico 5.6-a, se puede observar un patrón de variación similar del ABI entre los muestreos (menor puntuación aguas arriba de la captación); no obstante, en los puntos C y D el ABI es menor durante el segundo muestreo o temporalidad más seca, lo cual responde a la disminución de caudal; a nivel general, el punto A es el mínimo y el punto C el de mayor puntuación. Estos valores se relacionan con la

realidad de la zona de muestreo y sus modificaciones antrópicas, pues aguas arriba, existe un efecto de la ganadería y quema de pajonal; mientras tanto, aguas abajo la disminución del caudal evita el desarrollo de organismos sensibles a variaciones ambientales; es decir, en ningún sitio la puntuación del ABI refleja un estado natural o sin alteraciones.

Gráfico 5.6 Valores de ABI (a) y AASPT (b) por cada punto de muestreo



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Además, se calculó la Puntuación media Andina por taxón (AASPT), dividiendo el ABI de cada punto, para el número de taxones recolectados. Es así que, el AASPT traduce el promedio del límite inferior de la sensibilidad a la polución de los taxones de un sitio, de forma independiente del esfuerzo de muestreo (Ríos-Touma *et al.*, 2014). Todos los valores del AASPT son superiores a 4, siendo el punto C del primer muestreo, el de mayor puntuación. En el Gráfico 5.6-b, se observa que no existe un patrón de similitud en la variación de este índice entre los dos muestreos realizados; no obstante, el AASPT total, se incrementa desde el punto A hasta el C, con una disminución considerable de su valor en el punto D, lo cual indica una mayor sensibilidad de los taxones recolectados.

5.2. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS Y FÍSICO - QUÍMICAS DEL RÍO JATUNHUAYCO ALREDEDOR DE LA CAPTACIÓN

5.2.1. CALIDAD DEL HÁBITAT FLUVIAL

Los valores del índice de heterogeneidad del hábitat fluvial de los puntos de muestreo en el río Jatunhuayco, se encontraron en un rango comprendido entre 57 y 74, siendo el punto C el de mayor valor (***Tabla 5.6***).

Tabla 5.6 Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF) alrededor de la captación

Bloque	Parámetro del índice IHF	Puntuación	MUESTREO 1 y 2			
			A	B	C	D
1	Inclusión de rápidos	10	5	5	5	5
2	Frecuencia de rápidos	10	8	10	8	8
3	Composición del sustrato	20	12	14	20	20
4	Regímenes de velocidad / profundidad	10	10	10	8	8
5	Porcentaje de sombra en el cauce	10	3	3	5	5
6	Elementos de heterogeneidad	10	4	4	8	8
7	Cobertura de vegetación acuática	30	15	15	20	20
	PUNTUACIÓN TOTAL	**100**	**57**	**61**	**74**	**74**

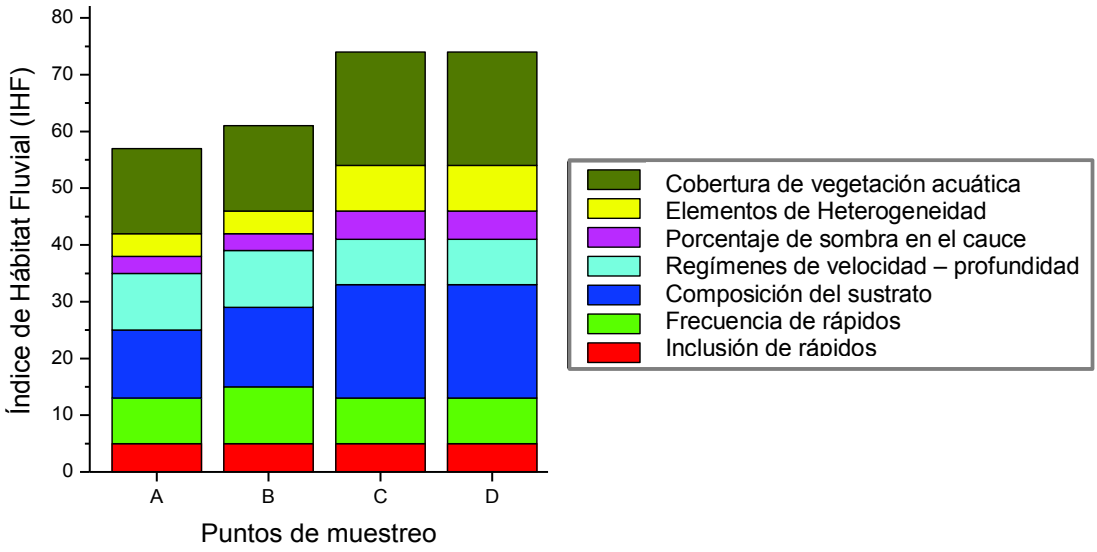
ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Según la Tabla 2.6 (niveles de calidad del hábitat fluvial), los puntos antes de la captación son de calidad “Buena” con limitaciones (40 – 60), mientras que aguas abajo de la misma, la calificación es “Muy Buena” (> 60), esto se relaciona con la mayor abundancia y diversidad de organismos encontrados. El análisis de campo durante las dos campañas de muestreo, proporcionaron resultados similares, lo que indica que la calidad del hábitat fluvial no varía entre ambos muestreos realizados.

El gráfico 5.7 de columnas apiladas, muestra que la composición del sustrato es el apartado que influye de manera significativa en la variabilidad del índice IHF; como se mencionó anteriormente, los puntos aguas arriba de la captación tienen un lecho de sustrato fino, con cantos, gravas y arena, lo cual genera una diversidad de hábitats media; en cambio, los puntos de la quebrada (C y D) tienen un sustrato

diverso que favorece el desarrollo de los diferentes organismos adheridos a rocas y bloques de mayor tamaño; además se observan diques naturales o caídas de agua que aumentan los elementos de heterogeneidad del cauce.

Gráfico 5.7 Variación del Hábitat Fluvial en los puntos alrededor de la Captación



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Debido a la disminución del caudal luego de la captación, los regímenes de velocidad / profundidad se restringen; es decir, no se observa la categoría de rápido – profundo, a diferencia de los puntos previos en los cuales se pudo distinguir todas las categorías descritas en el Anexo 5. En el punto B, se notó la mayor frecuencia de rápidos; mientras que el punto A se caracterizó por meandros continuos debido a la topografía y pendiente leve del río.

En la Fotografía 4.2 y 4.3, se puede constatar que el porcentaje de sombra en el cauce es limitado a lo largo de todo el tramo analizado, pero se dan diferencias marcadas debido a la topografía. Mientras que aguas arriba de la captación el cauce está totalmente expuesto, en la quebrada se generan puntos de sombra debido al ancho de río y mayor cobertura vegetal en las riberas con arbustos de mediano tamaño.

Con respecto a la vegetación acuática de los puntos analizados, se observó que las macrófitas aguas arriba de la captación, están dominadas por *Myriophyllum*

quitense, Potamogeton paramoanus, Elodea potamogeton, Isoetes y *Callitriche.* Esta zona, al estar totalmente expuesta, recibe mayor intensidad de luz, lo cual provoca el desarrollo de especies sumergidas o anfibias en parches densos en las franjas de ribera y partes más profundas del cauce como remansos y meandros (Jacobsen, 2008). En cambio, debido a la ausencia de sustratos grandes (bloques o piedras), la cobertura de pecton y perifiton es mínima o nula (***Anexo 12-a***).

La obra de captación actúa como barrera, reteniendo la vegetación acuática que se desprende aguas arriba (***Anexo 12-c)***. Este factor, sumado a la topografía, a la pendiente del río, al sustrato diverso y menor incidencia de luz solar directa por la sombra de cauce, genera un menor porcentaje de cobertura de las macrófitas en los puntos luego de la captación, en contraste, el incremento de musgos y hepáticas adheridos a sustratos gruesos y estables es más notorio y evidente (***Anexo 12-d***).

5.2.2. CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA ANDINA QBR-And

Los valores de la vegetación de ribera de los puntos de muestreo, analizados con el índice QBR-And, para comunidades de pajonales, páramos y punas (***Anexo 6***), se encontraron en un rango entre 45 y 75, considerándose que al evaluarse sólo tres parámetros, la puntuación máxima de 75 equivale a 100 puntos (***Tabla 5.7***) (Acosta *et al*., 2009). El análisis de campo durante las dos campañas de muestreo indica que la calidad de vegetación de ribera no varía, pero presenta mejores características de conservación aguas abajo de la captación (***Gráfico 5.8***).

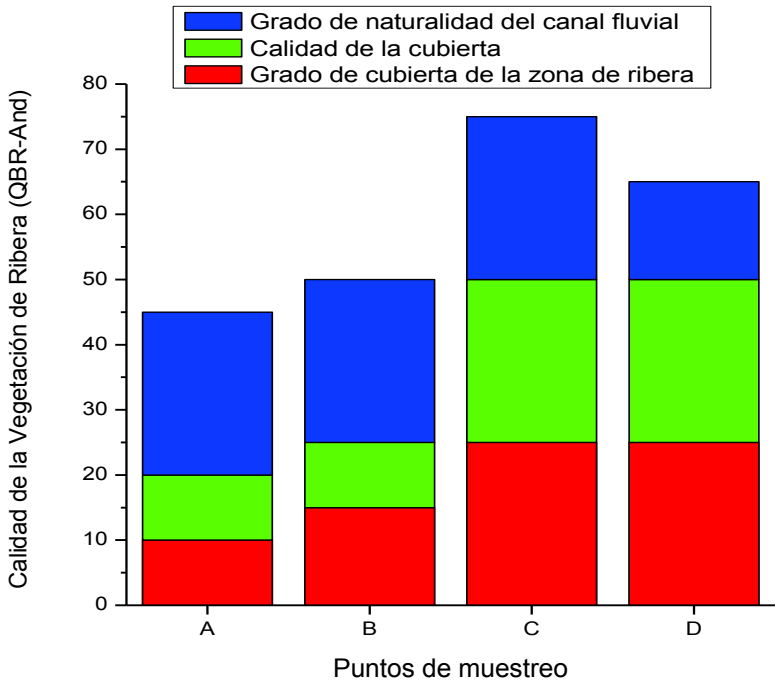
Tabla 5.7 Evaluación de la vegetación de ribera (QBR-And)

Bloque	Parámetro del índice QBR-And	Puntuación	MUESTREO 1 y 2			
			A	B	C	D
1	Grado de cubierta de la zona de ribera	25	15	15	25	25
2	Calidad de la cubierta	25	10	10	25	25
3	Grado de naturalidad del canal fluvial	25	25	25	25	15
	PUNTUACIÓN TOTAL	75	45	50	75	65
	PONDERACIÓN	**100**	**60**	**66.6**	**100**	**86.6**

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Según la ponderación de la calificación sobre 100 y en base a la Tabla 2.7 (calidad de la vegetación de ribera QBR-And), los puntos antes de la captación tienen un inicio de alteración importante (calidad “Intermedia”), debido a que hay evidencias de quema de pajonal (gramíneas) de ribera o pastoreo en estos puntos. Por otro lado, aguas abajo de la obra de captación, la quebrada (punto C) tiene una vegetación de ribera “Sin alteraciones” (estado natural); mientras que en el punto D la vegetación está ligeramente perturbada (calidad “Buena”) porque existe una estructura sólida (puente – túnel) dentro del lecho del río (***Anexo 12-e***).

Gráfico 5.8 Variación de la Calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And) alrededor de la captación



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

La estructura de la vegetación de ribera antes de la captación, es de tipo pajonal altimontano (herbazal de páramo), dominado por gramíneas amacolladas y una variedad de hierbas en roseta y rastreras (Beltrán *et al*., 2009). Existen signos de afectación por las quemas asociadas a la ganadería extensiva de años anteriores en la cuenca, especialmente en el punto A; esto se determina por la presencia abundante de hierbas exóticas o especies rastreras como *Lachemilla orbiculata,* (indicadora de hábitats sometidos a un pastoreo intenso) (Mena & Medina; 2001) y

por la compactación del suelo junto a gramíneas de penachos fragmentados con una estructura más abierta y menos alta (Hofstede *et al*., 2014); además se observó la presencia de estiércol en la zona de ribera. Como resultado, la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es entre el 25 y 50 % (***Anexo 12-b***), motivo por el cual el apartado de grado y calidad de cubierta de la zona de ribera de estos puntos recibe una menor puntuación (***Gráfico 5.8***).

Tabla 5.8 Vegetación de ribera en los puntos analizados

No.	Familia	Nombre científico	Forma de vida	A – B	C – D
1	Poaceae	*Calamagrostis intermedia*	Hierba en penacho	x	x
2		*Festuca sp.*		x	x
3		*Muhulenbergia sp.*		x	x
4		*Poa subspicata*		x	x
5	Rosaceae	*Lachemilla orbiculata*	Hierba rastrera	x	x
6	Geraniaceae	*Geranium antisanae*		x	x
7	Fabaceae	*Trifolium repens*		x	
8		*Lupinus pubescens*	Arbusto		x
9	Isoëtaceae	*Isoetes*	Hierba semiacuática	x	
10	Valerianaceae	*Valeriana microphylla*	Arbusto	x	x
11	Huperziaceae	*Huperzia crassa*	Licopodio	x	x
12	Apiaceae	*Azorrella pedunculata*	Almohadilla	x	x
13	Plantaginaceae	*Plantago rigida*		x	x
14	Polypodiaceae	*Polypodium sp.*	Helecho		x
15	Polygonaceae	*Rumex tolimensis*	Hierba terrestre	x	x
16	Plantaginaceae	*Plantago australis*			x
17	Asteraceae	*Helogyne sp.*		x	x
18		Dorobaea pimpinellifolia	Roseta acaulescente (sin tallo)		x
19		*Werneria nubigena*		x	x
20		*Hypochaeris sessiliflora*		x	x
21		*Diplostephium ericoides*	Arbusto		x
22		*Chuquiraga jussieui*		x	x
23		*Loricaria thuyoides*			x
24		*Monticalia arbutifolia*			x
25		*Pentacalia peruviana*			x
26		*Gynoxys*			x

FUENTE: (Aguirre & Torres, 2014; MECN-INB, 2015; Sierra, 1999; Beltrán *et al*., 2009)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Por el contrario, aguas abajo de la captación, en la pendiente de la quebrada se observa un remanente de pajonal arbustivo altimontano, con arbustales bajos, matorrales aislados y herbáceas (Beltrán *et al*., 2009); según (Hofstede *et al*., 2014), este tipo de zonas, al estar poco expuestas a vientos por el encajonamiento del cauce pudieron sobrevivir a las quemas y al pastoreo por la dificultad de acceso; el resultado es una vegetación más desarrollada y diversa dominada por arbustos de *Chuquiraga jussieui, Diplostephium ericoides, Monticalia arbutifolia y Gynoxys* (***Tabla 5.8***); esta diversidad de formaciones vegetales es un remanente que indica la situación inicial del páramo antes de las quemas y sobrepastoreo.

En la Tabla 5.8 se presenta los principales grupos de vegetación observados en la zona alrededor de la captación Jatunhuayco, utilizando información secundaria de la flora de los páramos del Ecuador. Es necesario recalcar, que existe una diferencia en la composición y estructura de flora entre los puntos analizados, a pesar que existen 15 variedades de especies compartidas, aguas abajo el desarrollo arbustivo es significativamente mayor (***Fotografía 4.2 y 4.3***).

5.2.3. CALIDAD ECOLÓGICA DE RÍOS ANDINOS (ECOSTRIAND)

Como resultado de los índices ABI, IHF y QBR-And, se realizó un análisis para valorar de forma global la calidad del río Jatunhuayco alrededor de la captación, mediante un índice de evaluación rápida, denominado ECOSTRIAND (ECOlogical STatus RIver ANDean) (Acosta *et al*., 2009).

Debido a que el índice de hábitat fluvial (IHF) alrededor de la captación, es de calidad “Buena” (aguas arriba) y “Muy Buena” (aguas abajo) (***Tabla 5.6***), la heterogeneidad del hábitat no es una limitante para el desarrollo de organismos acuáticos, aunque determina su abundancia y diversidad. El valor más importante para el índice ECOSTRIAND es el componente biológico, en función de la calidad de vegetación de la ribera (Prat *et al*., 1999). En este sentido, siguiendo la Tabla 2.8 (índice ECOSTRIAND), se asigna un valor de clase o categoría a cada punto analizado, dando como resultado general que los puntos arriba de la captación son

de calidad “Regular”, mientras que aguas abajo, la calidad ecológica del tramo analizado es “Buena”, como se observa en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Calidad ecológica de los puntos alrededor de la captación

Punto	ABI		QBR-And		ECOSTRIAND
A	Buena	78	Intermedia	60	REGULAR
B	Buena	84	Intermedia	66	REGULAR
C	Buena	92	Estado Natural	100	BUENO
D	Buena	92	Buena	86	BUENO

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Según el índice ECOSTRIAND, la valoración del estado ecológico del río Jatunhuayco asociado a la captación de la EPMAPS, indica que el efecto de la ganadería extensiva y quema de pajonal en la zona de valle o planicie de origen glaciar (antes de la captación) tiene un impacto considerable en el desarrollo de macroinvertebrados y vegetación de ribera. Desde otro punto de vista, en la quebrada (luego de la captación), la calidad ecológica es Buena a pesar de la disminución del caudal, pues esta zona no se ve influenciada por la ganadería de años anteriores y tiene una cobertura vegetal más desarrollada y compleja.

5.2.4. VARIABLES FÍSICO – QUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA

Los principales parámetros físico – químicos de calidad del agua de los puntos analizados alrededor de la captación Jatunhuayco, durante ambas campañas de muestreo, se presentan en el Anexo 10 (valores medios, máximos y mínimos), mientras que los respectivos valores promedio se observan en la Tabla 5.10.

El caudal es la principal variable que limita la distribución y abundancia de especies acuáticas y regula la integridad ecológica de los sistemas lóticos (Cardona, 2012). Por tal motivo, se relaciona directamente con las características físico–químicas de los ríos y con la disponibilidad y variabilidad de hábitats en el cauce. Los aforos de caudal realizados en los diferentes puntos, muestran que la captación Jatunhuayco de la EPMAPS, disminuye el régimen natural del caudal del río en un 90 % aproximadamente; en el Gráfico 5.9 se observa que el patrón de variación es similar

en ambas campañas de muestreo, con un incremento en el punto B por un afluente de menor tamaño al cauce principal.

Tabla 5.10 Parámetros físico – químicos de calidad del agua

Parámetro		MUESTREO 1				MUESTREO 2			
		A	B	C	D	A	B	C	D
CAMPO	Caudal (l/s)	392,57	468,71	54,51	65,35	365,04	449,11	33,54	53,16
	Velocidad (cm/s)	54,97	57,01	30,72	30,9	58,43	60,58	44,85	37,21
	Profundidad (cm)	24	28,4	9	13,33	24,11	28,77	8,55	15,55
	Temperatura (°C)	12,8	11,7	12,2	11,4	13,5	12,8	12,2	13,2
	pH	7,5	7,3	8,3	8,4	8,3	7,7	8,9	8,9
	Conduct. (µS/cm)	200,4	214,4	218,4	220,8	244,5	248,5	246,3	255,2
	STD (mg/l)	107,9	115,3	118,1	118,3	125,8	123,0	128,5	125,0
	OD (mg/l)	10,8	10,6	9,4	9,1	10,1	9,3	9,7	9,4
	% OD Sat	69,9	69,1	61,4	57,5	69,3	61,0	65,1	63,2
LABORATORIO	ST (mg/l)	220,9	222,9	214,7	198,7	211,1	209,1	225,6	232,9
	SS (mg/l)	22,2	18,0	4,5	14,0	66,0	32,2	16,5	19,6
	NO_3^- (mg/l)	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
	$(PO4)^{3-}$ (mg/l)	1,0	0,7	0,6	0,5	0,7	1,0	0,7	0,8
	NH_4^+ (mg/l)	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	150	68	36	45	220	91	68	72

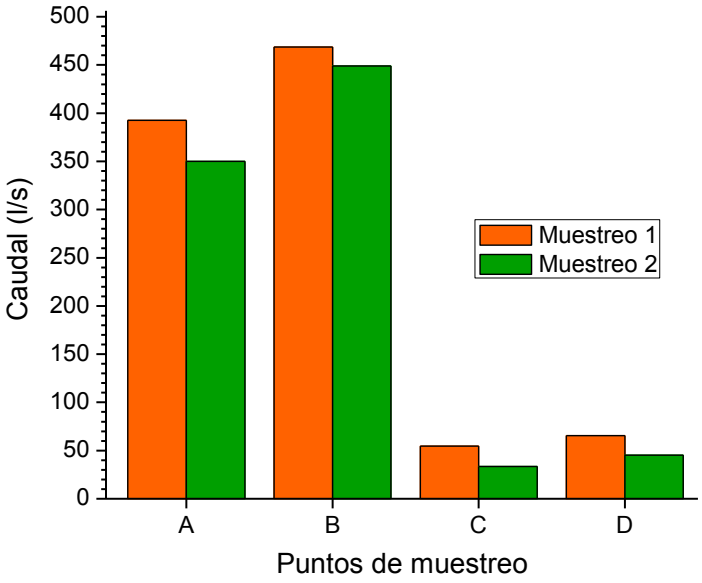
ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Las características hidráulicas más importantes para caracterizar el hábitat de macroinvertebrados son la velocidad y profundidad, las cuales se alteran con la variación del caudal (***Anexo 10***). Un efecto a simple vista aguas abajo de la captación, es el descenso del perímetro mojado y formación de pozas lentas, lo cual genera la disminución de hábitats alrededor de los sustratos de mayor tamaño (***Anexo 12-c***) y la agregación de los invertebrados bentónicos en sitios de mayor velocidad o rápidos (Cardona, 2012).

La temperatura del agua tiene un valor medio de 12,5 °C, con fluctuaciones importantes en todos los puntos analizados, en función de las condiciones

meteorológicas y la hora del día; siendo menor en todo el tramo durante el primer muestreo. Según (Jacobsen, 2008), la temperatura del aire en ríos de altura sobre los 3.000 msnm tiende a ser ligeramente menor que la registrada en el agua.

Gráfico 5.9 Variación del caudal por la derivación de la captación Jatunhuayco



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

En cuanto a las condiciones químicas, los valores de pH son cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos, con un patrón de variación similar durante los dos muestreos en función del caudal registrado, siendo menor durante la primera campaña. Además, se puede observar que, debido al aporte del afluente en el punto B, el pH se reduce; mientras tanto, aguas abajo por el efecto de la captación, el pH se vuelve ligeramente mayor (***Gráfico 5.10-a***). Las pocas variaciones del pH no perjudican la vida acuática, debido a que los rangos aceptables para la vida acuática y conservación de flora y fauna fluctúan entre 6 y 9 (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, 2015).

Por otro lado, en el Gráfico 5.10-b, la conductividad presentó una variación entre ambos muestreos, siendo menor en la primera campaña (mayor caudal y precipitación) con una media de 213,5 µS/cm, en comparación con el segundo muestreo (248,7 µS/cm). Aguas abajo de la captación, la conductividad se

incrementa ligeramente, debido a la derivación de caudal, lo cual permite mayor concentración de sales. Además, la conductividad tiene estrecha relación con la presencia de sólidos disueltos y temperatura, por lo que ésta se incrementa por el arrastre de sedimentos, efectos de la erosión del cauce y la escorrentía superficial.

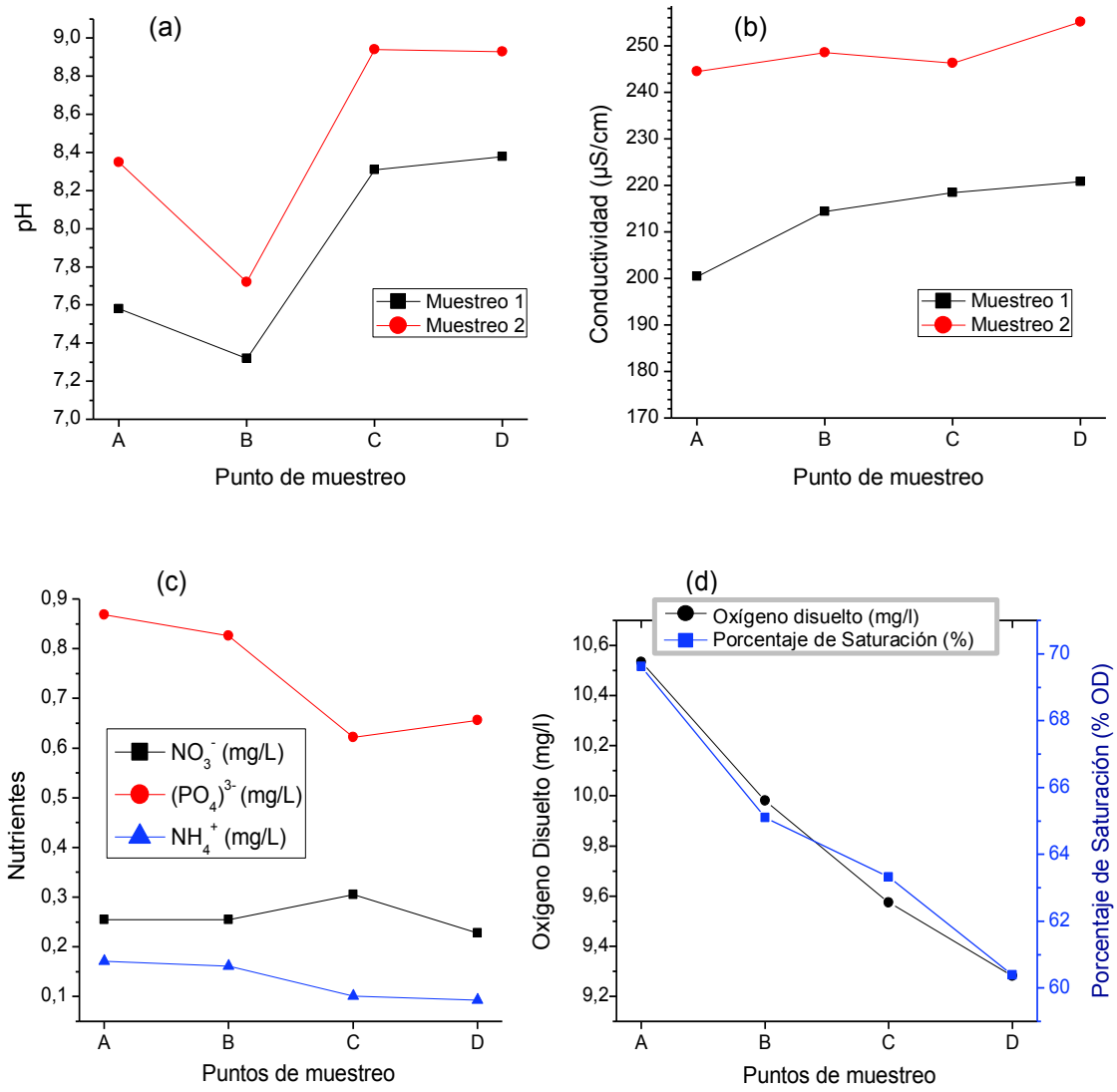
Cabe mencionar, que durante el segundo muestreo, la concentración de sólidos totales aumenta aguas abajo de la captación, este valor se relaciona con la disminución de caudal y acumulación de sedimentos. Por el contrario, los valores de Sólidos suspendidos son menores durante ambos muestreos luego de la captación. Según Jacobsen (2008), los factores que afectan la concentración de sólidos disueltos y suspendidos son la pendiente, precipitación, litología, vegetación y alteraciones antrópicas. En relación a la zona altoandina, los estudios que utilizan la evaluación ecológica con macroinvertebrados en respuesta a los sólidos en suspensión son bastante escasos (Villamarín, 2008).

En cuanto a los nutrientes, los datos de nitratos presentan valores bajos, que van de 0,2 a 0,4 mg/L, los cuales se mantienen relativamente constantes en los puntos analizados durante ambos muestreos. El nitrógeno en su forma amoniacal presentó valores entre 0,06 a 0,2 mg/L, con una disminución no representativa aguas abajo de la captación. Los valores de fosfatos oscilaron entre 0,47 y 0,99 mg/L, siendo mayores aguas arriba de la captación (***Gráfico 5.10-c***), lo cual se relaciona con el aporte de materia orgánica proveniente del ganado vacuno y caballos que invaden los linderos en esta zona. Jacobsen (2008), menciona que los nutrientes en ríos altoandinos son bajos y están en función del tipo de suelo y actividades antrópicas en la cuenca, es decir los resultados obtenidos corroboran las investigaciones previas de ríos de altura.

En el Gráfico 5.10-d el oxígeno presenta saturaciones que van de 55 a 76 %, con valores de concentración entre 8,5 y 11,6 mg/L (***Anexo 10***), lo cual indica que son aguas bien oxigenadas y de excelente calidad. Los valores promedio de oxígeno disuelto disminuyen ligeramente aguas abajo de la captación (producto de la derivación del caudal), pero es una variación no significativa para el desarrollo de los organismos acuáticos, esto se corroboró durante el levantamiento de

información, al observar individuos de truchas río abajo de la captación. La solubilidad de oxígeno en el agua depende principalmente de la temperatura, la población de plantas acuáticas, el caudal, la presión atmosférica, la salinidad, y la contaminación; todos estos factores en su conjunto producen la disminución de la concentración de Oxígeno disuelto y del porcentaje de saturación aguas abajo de la captación.

Gráfico 5.10 Variación del pH (a), Conductividad (b), Nutrientes (c) y Oxígeno Disuelto (d) en los diferentes escenarios



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

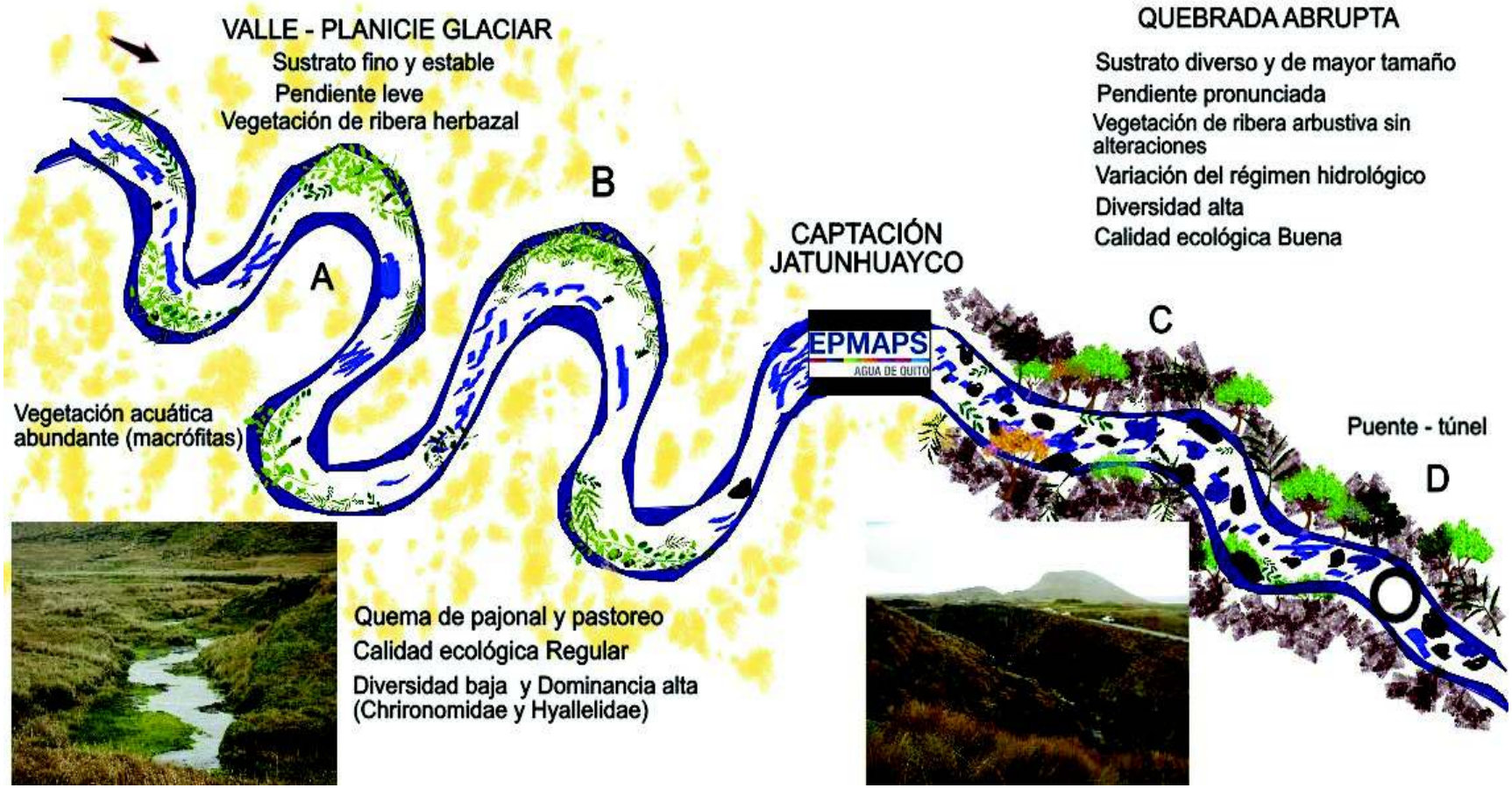
Para complementar los datos de calidad del agua, se realizaron análisis microbiológicos de coliformes fecales, dada la importancia del río Jatunhuayco como aportante al Sistema La Mica Quito-Sur. Los resultados muestran que la concentración de coliformes fecales es mayor aguas arriba de la captación, lo cual se acentúa en el segundo muestreo (menor caudal) en el punto A (220 NMP/100 ml) (***Anexo 10***). No obstante, los valores se encuentran dentro del límite máximo permisible según los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano que requieren tratamiento convencional, según la Normativa Nacional Vigente (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, 2015). Del mismo modo, de los análisis de físico – químicos se puede determinar que el río Jatunhuayco, cumple los criterios de calidad para la preservación de flora y fauna (vida acuática) en aguas dulces frías.

5.3. DISCUSIÓN

El interés de preservar los ecosistemas fluviales, sometidos a una constante degradación, debido a la explotación del recurso y contaminación del agua, requiere la generación de correctas estrategias de gestión; por lo cual, resulta esencial realizar una evaluación del estado ecológico (Ladrera, 2012a).

En la Figura 5.1, se presenta un esquema general que resume las principales variables y características del tramo del río alrededor de la captación Jatunhuayco. En el presente estudio, se evidencia que existen varios problemas ambientales visibles en la microcuenca del río Jatunhuayco (alrededor de la captación de la EPMAPS); entre ellos: i) el efecto de la ganadería extensiva y quema de pajonal de años anteriores en la zona del valle (arriba de la captación) y, ii) la disminución del caudal del río por la extracción del agua (***Figura 5.1***). En este contexto, cabe indicar que durante la investigación, se observó la instalación paulatina de un cerco de alambre en el margen derecho del río aguas arriba de la captación, para evitar el acceso del ganado de terrenos vecinos.

Figura 5.1 Esquema de las principales características del sitio de estudio



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

La fauna de macroinvertebrados del río Jatunhuayco alrededor de la captación, está mayormente constituida por insectos (18 taxones). De un total de 14.678 individuos (2.265 ind/m^2), se identificaron 14 órdenes y 27 familias, cuya riqueza está distribuida entre cinco taxones relevantes: Díptera (47,8 %), Melacostraca (20,8 %), Tricóptera (17,5 %), Coleóptera (5,7 %) y Turbellaria (3,7 %). A pesar de las diferencias entre tipos de páramo y características particulares de ríos altoandinos, las familias identificadas son similares a las que aparecen en otros estudios citados por Jacobsen (2008), Villamarín (2008) y el más cercano, sobre la fauna acuática de la Reserva Ecológica Antisana (Espinoza *et al*., 2010).

Debido a que, la estructura de una comunidad específica de macroinvertebrados bénticos en un cuerpo de agua, depende de los factores físicos, químicos y biológicos que ocurren en él (Elosegi & Sabater, 2009), se observan diferencias en la composición y abundancia de macroinvertebrados entre las zonas analizadas, en función del estrés ambiental. Basándose en el índice de diversidad de Shannon (que toma en cuenta el número de individuos y el número de taxones), se muestra que la zona más rica en diversidad y abundancia, es la quebrada luego de la captación (punto C). Este resultado sería esencial para la definición de zonas de alta biodiversidad y zonas donde se deben enfocar los esfuerzos de conservación.

A pesar que existe una disminución natural del número de grupos de macroinvertebrados a lo largo del gradiente altitudinal (Jacobsen, 2008), en este estudio, la altura no es un factor determinante, porque se desarrolla en un tramo de río relativamente corto (1.500 m) con una variación aproximada de 40 m de altitud entre los puntos extremos. Como se indicó, la captación Jatunhuayco se ubica en un sitio estratégico de transición a escala de paisaje, debido a las características morfológicas del tipo de relieve y topografía, lo cual sumado a los efectos antrópicos, genera un tipo de vegetación de ribera y disponibilidad de hábitats específica entre los puntos ubicados antes y después de la captación (***Figura 5.1***). Este factor es determinante en la composición y abundancia de organismos en los diferentes sitios.

Los puntos ubicados antes de la captación están representados principalmente por familias de Chironomidae (52,5 %) y Hyallelidae (33,9 %), los cuales son colectores y colectores/trituradores respectivamente. Estos organismos abundan debido a la diversidad y desarrollo de vegetación acuática (algas bénticas y macrófitas), así como sustratos arenosos con materia orgánica observados en el tramo analizado. En cambio, en los puntos río abajo de la captación, disminuye la representatividad de la familia Chironomidae (40 %) y Hyallelidae (56 %), pero se incrementa la abundancia de los taxones Limnephilidae (13,6 %), Elmidae (10,3 %) y Glossosomatidae (9,9 %). Este fenómeno está relacionado a la diversidad de sustratos fijos (bloques y piedras) y a la vegetación de ribera más desarrollada que aporta material alóctono y raíces al lecho del río; motivo por el cual, aumentan en número los raspadores, trituradores y colectores/raspadores. Los organismos de la familia Hyallelidae son considerados facultativos en cuanto a su alimentación y disminuyen considerablemente aguas abajo de la captación, lo cual se relaciona con la reducción de caudal y disminución de la vegetación acuática (macrófitas).

Los muestreos se realizaron en dos temporadas (Octubre–2015 y Enero–2016), consideradas dentro de la época seca en la zona de estudio, pero con una diferencia considerable de menor precipitación y mayor caudal captado durante el segundo muestreo. Según menciona Jacobsen & Encalada (1998) y Jacobsen (2008), el número de taxones, la abundancia y la densidad de macroinvertebrados son ampliamente mayores durante la estación seca, debido a la estabilidad del flujo y facilidad de colonización. En este sentido, los resultados de abundancia y densidad de macroinvertebrados colectados durante el segundo muestreo (3.059 ind/m^2), son superiores a los obtenidos en la temporada más húmeda (1.470 ind/m^2) y para corroborar estos resultados, el índice Shannon muestra valores mayores durante la época seca, lo cual se traduce en una riqueza considerable y distribución de organismos más homogénea.

La variabilidad del régimen de caudales influye en la estabilidad, diversidad y disponibilidad de hábitats, en la morfometría fluvial y en la conectividad lateral de los flujos de agua, alterándose además la conexión longitudinal del cauce (río discontinuo) (Ward & Stanford, 1979). Como ya se mencionó, los puntos ubicados

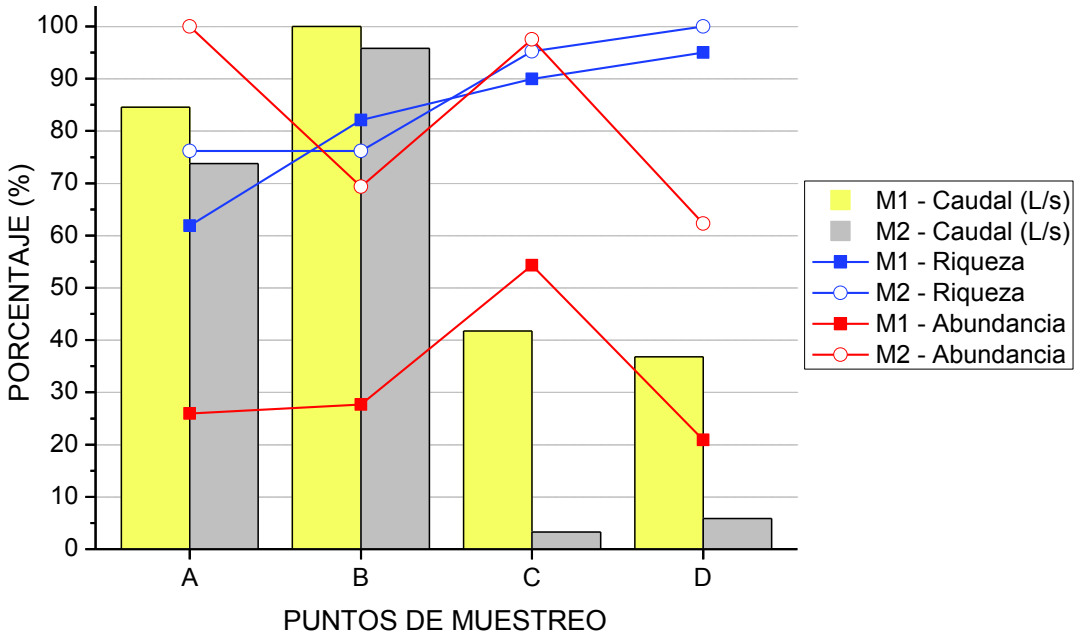
antes de la captación poseen una diversidad baja con organismos bentónicos dominantes (Chironomidae y Hyallelidae) que representan más del 80 % del total de individuos registrados, esto se relaciona a un hábitat fluvial con limitaciones y a una vegetación de ribera con signos de alteración importante (calidad “Intermedia”). Por el contrario, aguas abajo de la captación, a pesar del descenso del caudal, el tramo analizado es más complejo y diverso pues posee un hábitat fluvial de calificación “muy buena” y una vegetación de ribera sin alteraciones (punto C) o ligeramente perturbada (punto D), lo cual se refleja en una mayor variabilidad y heterogeneidad de macroinvertebrados (mayor abundancia de las familias Planariidae, Limnephilidae, Glossosomatidae, Hydroptilidae, Hydrobiosidae y Elmidae).

El Gráfico 5.11 muestra la variación en porcentaje del caudal, de la abundancia y de la riqueza de macroinvertebrados en ambas campañas de muestreo, respecto a los valores máximos medidos. Se puede observar que a pesar de la disminución de caudal aguas abajo de la captación, no existe un efecto de la obra hidráulica en la abundancia o diversidad de organismos bentónicos, en comparación con los sitios aguas arriba. En el punto D, durante los muestreos realizados, la abundancia de individuos disminuye en comparación con el punto C, esto se debe a que la vegetación de ribera está ligeramente perturbada (calidad “Buena”) porque existe una estructura sólida (puente – túnel) dentro del lecho del río.

No obstante, las únicas familias que disminuyen su abundancia en el muestreo de la época seca en los puntos río abajo de la captación, son Hyallelidae, Glossosomatidae y Leptoceridae, en una proporción de 40 % para las dos primeras y 56 % para la última familia. Además, los individuos de Hydropsychidae y Hellicopsychidae (refugio vacío), sólo se colectaron en el primer muestreo o temporada húmeda. Este resultado, indica la sensibilidad de dichas familias a la reducción del caudal en la época seca; por lo tanto, pueden ser considerados como bioindicadores de calidad ecológica para el análisis de la derivación de caudal de la captación en el río Jatunhuayco. El efecto más considerable, aguas abajo de la captación, es la formación de pozas y disminución de rápidos, con la pérdida de perímetro mojado de los sustratos de mayor tamaño, en los cuales habitan y se

desarrollan los organismos de las familias mencionadas del orden tricoptera, al ser raspadores o trituradores.

Gráfico 5.11 Porcentaje de variación del caudal, abundancia y riqueza en el Muestreo 1 (M1) y Muestreo 2 (M2)



ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

Por otro lado, dentro de las herramientas de evaluación ecológica de ríos altoandinos, el índice ABI presenta resultados de calidad “buena” para todos los puntos, con valores menores durante el segundo muestreo (temporada más seca) en los puntos luego de la captación, lo cual responde a la disminución de caudal.

El hábitat fluvial no es una limitante para el desarrollo de macroinvertebrados en los puntos analizados; no obstante, la calidad de vegetación de ribera difiere significativamente entre los dos entornos (antes y después de la captación) y es determinante para la salud del ecosistema analizado. En consecuencia, en los muestreos, la valoración global del estado ecológico del río Jatunhuayco, según el índice ECOSTRIAND, muestra una calidad Regular para la zona antes de la captación (valle de origen glaciar con efectos de ganadería intensiva y quema de pajonal de años anteriores); al contrario, aguas abajo de la obra hidráulica

(quebrada de con remanente de pajonal arbustivo), la calidad ecológica es Buena, a pesar de la extracción de agua para consumo humano, lo cual indica que este ecosistema es resistente a pesar de la influencia del disturbio, y en su estado natural (sin afectaciones antrópicas) debería ser de excelente calidad. Además, se puede mencionar que el ecosistema estudiado aguas abajo de la captación tiene una elevada resiliencia, pues puede recuperarse del efecto de la derivación del caudal, debido a sus características de estructura, riqueza de especies y funcionalidad ecológica por las variables de vegetación de ribera y hábitat fluvial. No obstante, este estudio es insuficiente para establecer la dinámica y la estabilidad reales de la comunidad, ya que no se cuenta con registros del período y uso de la captación, así como un monitoreo continuo de la población de macroinvertebrados.

En cuanto a las variables fisicoquímicas registradas, no existieron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo y entre ambas temporalidades, a excepción de la variación de caudal; además, los parámetros de calidad del agua, no son relevantes en la distribución y abundancia de macroinvertebrados pues están dentro de los criterios de calidad para la preservación de flora y fauna (vida acuática) en aguas dulces frías, pues es un río de páramo de buena calidad, lo cual se corrobora con el resultado del índice biótico andino (ABI). Es necesario mencionar que la calidad del agua del río Jatunhuayco según los análisis microbiológicos, está dentro de los rangos establecidos para consumo humano previo tratamiento convencional (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, 2015).

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La calidad ecológica del río Jatunhuayco, evaluada mediante macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua, presenta una caracterización particular de las zonas ubicadas alrededor de la captación de la EPMAPS. Las condiciones morfológicas, de relieve, uso de suelo y vegetación de ribera, generan hábitats diferentes para el desarrollo de las comunidades bióticas, lo cual se refleja en un sistema más heterogéneo y diverso aguas abajo de la captación.

La zona ubicada aguas arriba de la captación es un valle en forma de U, tiene signos de afectación del pastoreo intensivo y quema de pajonal de años anteriores, además, el cauce está expuesto y posee una topografía suave con pendiente muy leve (0,8 %) y sustrato fino y estable. Sin embargo, aguas abajo y a corta distancia de la obra hidráulica, el hábitat es más diverso, debido a que, el río forma una quebrada estrecha con depósitos de rocas, bloques y sustrato variable con una pendiente más pronunciada (3,3 %) y menor sinuosidad del cauce. La vegetación de ribera es más desarrollada y no tiene alteraciones antrópicas, a excepción del punto D que tiene una estructura sólida (puente – túnel) dentro del lecho del río.

La fauna de macroinvertebrados del río Jatunhuayco (alrededor de la captación), está mayormente constituida por insectos, y dentro de los mismos el grupo díptera resultó ser el más representativo. Se identificaron 14 órdenes y 27 familias, cuya riqueza está distribuida entre cinco órdenes relevantes: Díptera (47,8 %), Melacostraca (20,8 %), Tricóptera (17,5 %), Coleóptera (5,7 %) y Turbellaria (3,7 %). Los puntos ubicados antes de la captación tienen una diversidad baja y están representados por familias dominantes (Chironomidae con 52,5 % y Hyallelidae con 33,9 %), los cuales abundan debido al desarrollo de macrófitas acuáticas y sustratos arenosos con materia orgánica. Sin embargo, en los puntos

río abajo de la captación, disminuye la representatividad de la familia Chironomidae (40 %), pero se incrementa la abundancia de Limnephilidae (13,6 %), Elmidae (10,3 %) y Glossosomatidae (9,9 %). Este fenómeno está relacionado a la diversidad de sustratos fijos (bloques y piedras) y a la vegetación de ribera más desarrollada que aporta material alóctono y raíces al lecho del río.

El índice ABI (Andean Biotic Index) presenta resultados de calidad del agua “Buena” (ligeramente contaminada) para todos los puntos analizados. No obstante, aguas arriba de la captación, la puntuación es menor como resultado de un hábitat fluvial y vegetación de ribera de calidad intermedia; esto se traduce en un número de taxones y abundancia de macroinvertebrados más baja, con dominancia de ciertos grupos tróficos y familias representativas. Por otra parte, a pesar de la disminución de caudal, las condiciones hidromorfológicas adecuadas en la quebrada favorecen el incremento de la riqueza de taxones y diversidad, así como la distribución homogénea de los organismos. Cabe recalcar que los valores del ABI son menores durante el segundo muestreo (temporada más seca) en los puntos aguas abajo de la captación, lo cual responde a la disminución de caudal.

En el análisis de calidad del agua, el uso de métodos biológicos basados en macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, es eficaz y válido, ya que la composición y abundancia de macroinvertebrados en el sitio de estudio alrededor de la captación Jatunhuayco dependen del estrés ambiental y de los factores físicos y ecológicos. Es necesario aclarar que la información biológica no reemplaza los registros físico – químicos, sino que los complementa para tener un criterio del estado de conservación a lo largo del tiempo.

Las características hidromorfológicas de los puntos antes de la captación, presentan valores del índice de heterogeneidad del hábitat fluvial (IHF) de calidad “Buena” con limitaciones, además, la calidad de la vegetación de ribera (QBR-And), tiene un inicio de alteración importante (calidad “Intermedia”), debido a que se observan evidencias de intervención antrópica en esta zona. Por el contrario, aguas abajo de la obra hidráulica, la calificación del IHF es “Muy Buena”, y el QBR-And presenta una vegetación de ribera “Sin alteraciones” (punto C) o ligeramente

perturbada de calidad “buena” (punto D). Según los análisis de campo, el índice IHF y el QBR-And no varían entre las dos campañas de muestreo realizadas.

El índice integral ECOSTRIAND muestra una calidad ecológica “Regular” para la zona antes de la captación durante ambos muestreos, al contrario, aguas abajo de la obra hidráulica (quebrada con remanente de pajonal arbustivo), la calidad ecológica es “Buena”, a pesar de la extracción de agua para consumo humano. Según esta valoración, no se distingue un impacto de la captación.

El protocolo CERA, resulta ser una herramienta de evaluación de la calidad ecológica rápida, eficaz y adecuada para ríos de altura, ya que, se obtuvo resultados globales que integran la calidad del ecosistema estudiado en función de su estructura biológica y ecológica; en particular, la vegetación de ribera tiene gran importancia en el desarrollo de macroinvertebrados y en la calificación del estado ecológico a través del índice ECOSTRIAND, motivo por el cual este método fue validado en el presente trabajo de investigación.

Los resultados del estado ecológico del río Jatunhuayco, en función del componente biológico del sistema, proporcionan información del estado de conservación de la microcuenca a lo largo del tiempo, manifestando que el efecto de la ganadería extensiva y quema de pajonal de años anteriores, persisten hasta la actualidad. Además, la gestión adecuada de la EPMAPS mediante estrategias y acciones de conservación de este ecosistema, es esencial para garantizar el abastecimiento de agua en calidad y cantidad, así como la integridad ecológica del sistema aguas abajo de la captación.

El análisis de la variación estacional del caudal en el río Jatunhuayco es importante y necesario para evaluar el impacto de la obra hidráulica. Existen ciertos taxones sensibles (Hyallelidae, Glossosomatidae, Leptoceridae e Hydropsychidae) que disminuyen en abundancia o no fueron colectados aguas abajo de la captación en el segundo muestreo, en comparación con la temporada húmeda (muestreo inicial). Según los aforos realizados, el caudal captado es cercano al 90 %, siendo la principal variable que condiciona la distribución y abundancia de especies acuáticas

y regula la integridad ecológica del sistema. El efecto más considerable, aguas abajo de la captación, es la formación de pozas y disminución de rápidos, con la pérdida de perímetro mojado de los sustratos de mayor tamaño.

6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un muestreo periódico de macroinvertebrados a lo largo del gradiente altitudinal en toda la microcuenca y sus afluentes, para evaluar de manera detallada el impacto de la ganadería extensiva y quema de pajonal, así como la recuperación de la cubierta vegetal en la zona. De igual manera, para complementar el análisis del efecto de la obra de captación Jatunhuayco en el ecosistema acuático, es recomendable implementar un monitoreo constante o biomonitoreo estacional, con puntos de muestreo más cercanos a la captación y teniendo en cuenta las variaciones de flujo natural, así como el tiempo, caudal captado y permanencia de apertura de la obra hidráulica.

Para mejorar la información de la ecología del río Jatunhuayco y los efectos de la modificación de caudales, se recomienda realizar una investigación del funcionamiento del ecosistema fluvial, mediante el análisis de transporte y retención de sedimentos, nutrientes o materia orgánica, así como la fotosíntesis de algas y productores primarios o estudios de comunidades superiores (peces). También se podría considerar un análisis ecológico, usando otro sistema de bioindicación, como los índices multimétricos que representan características funcionales de la comunidad de macroinvertebrados.

Es recomendable que, para proponer un régimen y modelamiento de caudales ecológicos para ríos de altura, se realice la investigación en un tramo de río con características similares (sustrato, pendiente, topografía y vegetación de ribera) o sin cambios bruscos de estas propiedades, con el fin de corroborar de mejor manera el impacto de la obra hidráulica en las variables bióticas por disminución del caudal. Además, se recomienda evaluar una estación de referencia o río sin alteraciones antrópicas, para comparar los resultados de calidad del agua, diversidad y estado ecológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, R. (2009). *Estudio de la cuenca altoandinadel río Cañete (Perú), distribución altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas.* Tesis Doctoral En Ecología. Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

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.* Limnética, 35-64.

Agència Catalana de l'Aigua. (2006). *Protocolo HIDRI. Protocolo para la valoración de la calidad HIDromorfológica de los RIos.* Cataluña: Barcino Gràfiques.

Aguirre, N., & Torres, J. (2014). *Restauración Ecológica de los Páramos de Jatunhuayco: degradación, sistema de referencia y estrategias de restauración*. Quito: Fondo para la Protección del Agua - FONAG.

Aguirre, N., Torres, J., & Velasco, P. (2014). *Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana.* Quito-Ecuador: Fondo para la Protección del Agua - FONAG.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. *18*. NY, Estados Unidos de Norteamérica: American Public Health Association.

Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., . . . Ruiz, D. (2011). Consequences of Climate Change for Ecosystems and Ecosystem Services in the Tropical Andes. En S. Herzog, R. Martínez, P. Jorgensen, & H. Tiessen, *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes* (págs. 1-18). San Jose dos Campos and Paris: Inter-American Institute for Global

Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).

Ansmann, T. (2000). *Donde hay cobertura hay servicio. Valoración económica del servicio ambiental en la cuenca Jatunhuaycu – Antisana que alimenta el proyecto de agua potable "La MICA – Quito Sur" En Ecuador. .* Quito-Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería. .

Armijos , M., & De Bievre, B. (2013). El páramo como proveedor de servicio ambiental primordial, el agua. En F. Cuesta, J. Sevink, L. LLambi, B. De Bievre, & J. Posner, *Avances en Investigación para la conservación de páramos andinos* (pág. 337). Quito: CONDESAN.

Baron, J., Poff, L., Angermeier, P., Dahm, C., Gleick, P., Hairston, N., . . . Steinman, A. (2002). Meeting Ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 1247-1260.

Barrenechea, A. (2005). *Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental.* Recuperado el 2016, de Aspectos físico químicos de calidad del agua: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/tomoI/uno.pdf

Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., Yánez, S., Romolerux, K., Ortiz, E., . . . Velástegui, A. (2009). *Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador.* Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. .

Bonada, N., Prat, N., Múnee, A., Plancs, M., Solá, C., Alvarez, M., . . . Alba-Tercedor, J. (2002). Intercalibración de la metodología GUADALMED. Selección de un protocolo de muestreo para la determinación del estado ecológico de los ríos mediterráneos. *Limnetica, 21*, 13-33.

Bonada, Prat, N., Resh, V., & Statzner, B. (2006). Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A comparative Analysis of Recent Approaches. *Annu. Rev. Entomol*(51), 495-523.

Cáceres, B., Maisincho, L., Manciati, C., Loyo, C., Cuenca, E., Arias, M., . . . Cadier, E. (2012). *Glaciares del Ecuador - Antisana 15. Balance de Masa, Topografía, Pluviometría, Meteorología e Hidrología. Informe del año 2009.* Quito: IRD – INAMHI – EMAAP-Q - EPN.

Calispa, M. (2010). *Modelación hidrológica de glaciares y páramos en relación con la oferta de agua de Quito. Pruebas de simulación en las cuencas del sistema La Mica del volcán Antisana.* Quito: Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental - EPN.

Cardona, W. (2012). Curvas de idoneidad de hábitat para macroinvertebrados bentónicos: una herramienta para la estimación de caudales ambientales. Santiago de Cali: Escuela de los Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle.

Carrera, P., & Gunkel, G. (2003). Ecology of a high Andean Stream, Río Itambi, Otalavo, Ecuador. *Limnológica*, 29-43.

D.O.C.E. (Noviembre de 2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.* Recuperado el 2016, de http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/wfd/es.pdf

De Bièvre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2006). *Hidrología del páramo. Importancia, propiedades y vulnerabilidad.* Quito: Grupo de Trabajo de Páramos en el Ecuador.

De la Lanza, G., Hernández, S., & Carbajal, J. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores).* México D.F: Plaza y Valdés, S.A.

De la Paz, M. (2012). Evaluación de la calidad del agua e integridad ecológica de ríos altoandinos manejados por el FONAG. *Tesis Biología. Universidad San Francisco de Quito*. Quito.

De Pauw, N., Gabriels, W., & Goethals, P. (2006). River Monitoring and Assessment Methods Based on Macroinvertebrates. En G. Ziglio, M. Siligardi, & G. Flaim, *Biological Monitoring of Rivers. Aplications and Perspectives* (págs. 113-133). Brussels, Belgium: John Wiley & sons, Ltd.

Diez, J. M. (2011). *Curso de Evaluación de Caudales Ecológicos en ríos del Ecuador: Metodología IFIM-PHABSIM.* Quito: EPMAPS - SIMBIOE.

Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología.* Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.

Elosegi, A., & Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en Ecología fluvial.* Bilbao, España: Fundación FBVA.

Encalada, A. (2013). *Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos.* Universidad San Francisco de Quito, Laboratorio de Ecología Acuática, Quito. Obtenido de http://www.usfq.edu.ec/publicaciones/polemika/Documents/polemika005/polemika005_007_articulo004.pdf

Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). USFQ, UB, AECID, FONAG.* Quito.

EPMAPS. (2013). *Memoria de sostenibilidad .* Quito.

EPMAPS & FONAG. (2014). *Plan de Manejo Integral del Predio Antisana-Contadero.* Quito - Ecuador.

EPMAPS. (Septiembre de 2015). *EPMAPS - Agua de Quito*. Obtenido de http://www.aguaquito.gob.ec/

Espinoza, R., Andino, P., Jacobsen, D., & Dangles, O. (2010). Fauna acuática en la Reserva Ecológica Antisana, PUCE-IRD-Universidad de Copenhagen (SFB). Quito, Ecuador.

FLACSO, MAE, & PNUMA. (2008). *Geo Ecuador 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente.* Quito.

FONAG. (2013). *Términos de referencia para contratar administrador del Predio Antisana de propiedad de la empresa EPMAPS.* Quito.

FONAG. (2014). *Generación de indicadores de impacto de los procesos de restauración, en el componente Hidrológico dentro de la Unidad Hidrográfica Jatunhuayco.* Obtenido de http://www.condesan.org/portal/sites/default/files/publicaciones/archivos/fonag_monit__hidro_jatunhuaycu_ec.pdf

Gómez , R. (2003). *Modelos conceptuales de funcionamiento ríos y arroyos.*

Gómez, R. (2011). *Estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos continentales. Escalas y procesos.* Obtenido de Universidad de Murcia: http://ocw.um.es/ciencias/avances-ecologicos-para-la-sostenibilidad-de-los/material-de-clase-1/presentacion-leccion-01.pdf

Hanson, P., Springer, M., & Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. Biol. Trop., 58*, 3-37.

Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). *Los páramos andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo.* Quito: UICN.

Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos.* Quito: Global Peatland Iniciative/UICN/EcoCiencia.

Hofstede, R., & Mena, P. (2004). *Los beneficios escondidos del páramo: servicios ecológicos e impacto humano.* Obtenido de Proyecto Páramo Andino. Quito - Ecuador: http://www.condesan.org/e-foros/Bishkek/Bishkek%20B1-Caso(R.Hofstede-P.Mena).htm

Isch, E. (2009). La gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador. *REGA, VI*, 33-48.

Jacobsen, D. (2003). Altitudinal changes in diversity of macroinvertebratesbrates from small streams in the Ecuadorian Andes. *Archiv für Hydrobiologie, 158*, 145-167.

Jacobsen, D. (2003). *Los ríos de la Sierra ecuatoriana son más sensibles a la contaminación.* Obtenido de Repositorio Digital Senescyt: http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/614/1/T-SENESCYT-0085.pdf

Jacobsen, D. (2008). Tropical high-altitude streams. En D. Dudgeon, *Tropical Stream Ecology* (págs. 219-256). Elsevier Science.

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

Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J., & Dudgeon, D. (2008). Macroinvertebrates: Composition, life histories and production. En D. Dudgeon , *Tropical Stream Ecology* (págs. 65-105). Elsevier Science.

Jáimez-Cuéllar, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Alvarez, M., . . . Alba-Tercedor, J. (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica*(21), 187-204.

Ladrera, R. (2012a). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos.*

Ladrera, R. (2012b). Estudio del Estado ecológico de los cursos de agua fluviales del Parque Natural Sierra de Cebollera (La Rioja) en base a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Barcelona.

Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: Una herramienta didáctica. *Ikastorratza, e-Revista de didáctica* (11). Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4563336

Lebrunet, J., Rosero, D., Encalada, A., Arroyo, C., Mazoyer, C., Girard, V., & Fossati, O. (2008). Clave taxonómica para los invertebrados acuáticos en la zona de Papallacta, Ecuador. Quito, Ecuador: EMMAP-Quito, FONAG, IRD.

LLambi, D., Soto, A., Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos-Proyecto Páramo Andino. Proyecto Páramo Andino.

Lozano, M., Pujante, A., & Martínez, F. (2006). Estudio del estado ecológico de las cabeceras de los ríos Bergantes, Mijares y Palancia (Castellón, España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.), 101*, 57-70.

Maldonado, M., Maldonado , J., Ortega, H., Encalada , A., Carvajal, F., Rivadeneira , J., . . . Rivera, C. (2011). Biodiversity in Aquatic Systems of the Tropical Andes. En S. Herzog, R. Martínez, P. Jorgensen, & H. Tiessen, *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes* (págs. 276-294). San Jose dos Campos and París: Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE).

MECN-INB. (2015). *Plantas de los páramos del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador.* Quito-Ecuador: Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales del Instituto Nacional de Biodiversidad.

Mena, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 91-109. Obtenido de http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf

Mena, P., & Medina, G. (2001). La Biodiversidad de los páramos de Ecuador. En P. Mena, G. Medina, & R. Hofstede, *Los páramos del Ecuador: particularidades, problemas y perspectivas* (págs. 189-216). Quito: Abya-Yala I Proyecto Páramo.

Mena, P., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., . . . Ortiz, D. (2011). *Páramo: Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado.* Quito: EcoCiencia, Editorial Universitaria Abya-Yala y EC.

Merritt, W., Cummins, W., & Berg, M. (2008). *An introduction to the Aquatic insects of North America* (Cuarta ed.). Dubuque - Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.

Ministerio del Ambiente. (2013). *Sistema Nacional de áreas protegidas*. Obtenido de areasprotegidas.ambiente: http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-ecol%C3%B3gica-antisana

Ministerio del Ambiente, EcoCiencia, & UICN. (2001). *La Biodiversidad en el Ecuador. Informe 2000.* Quito: Carmen Josse.

Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T – Manuales y Tesis SEA, I*, 84.

Morlans, M. (2004). Introducción a la Ecología de Poblaciones. Editorial Científica Universitaria – Universidad Nacional de Catamarca.

Munné, A., Prat, N., Bonada, N., & Rieradevall, M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*(13), 147-163.

Oleas, N. H., Ríos-Touma, B., Peña, P., & Bustamanate, M. (2016). *Plantas de las quebradas de Quito: Guía Práctica de Identificación de Plantas de Ribera.* Universidad Tecnológica Indoamérica, Secretaría de Ambiente del DMQ, Fondo Ambiental del DMQ y FONAG.

Pardo, I., Alvarez, M., Casas, J., Moreno, J., Vivas, S., Bonada, N., . . . Vidal, R. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnética*(21), 115-133.

Pazmiño, A. (2010). Variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones zonas de montaña: caso del volcán Antisana. *Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental - EPN*. Quito, Ecuador.

Prat, N., & Rieradevall, M. (2011). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (díptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. *Grupo de Investigación F.E.M. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, España.*, 78.

Prat, N., Munné, A., Solá, C., Bonada, N., & Rieradevall, M. (1999). Perspectivas en la utilización de los insectos acuáticos como bioindicadores del estado

ecológico de ríos. Aplicación a ríos mediterráneos. *Rev. Soc. Entomol. Argent*(58), 181-192.

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de las aguas. En E. Domínguez, & H. Fernández, *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos.* (págs. 631-654). San Miguel de Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.

Quintero, M. (2010). *Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina. Estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas del pago por servicios ambientales.* Lima.

Ramírez, A. (2010). Métodos de recolección. *Rev. Biol. Trop., 58*, 41-50.

Ríos-Touma, B. (2008). *Comunidades de macroinvertebrados en un río altoandino; importancia del micro hábitat, dinámica de la deriva, papel de la materia orgánica y relevancia de la ovoposición - Universitat de Barcelona.* Barcelona.

Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 249-273.

Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda ed.). Medellín: Universidad de Antioquía.

Roldán, G (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc., XXIII*(88), 375-387.

Roldán, G (1989). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* Antioquia: Universidad de Antioquia. Centro de Investigaciones, CIEN.

Roldán, G (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col.* Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía.

Ruza, J. (2008). El concepto de estado ecológico: Indicadores biológicos utilizados. Proceso de establecimiento de objetivos ambientales: Las condiciones de referencia y el ejercicio de la intercalibraciòn europea. *Jornadas sobre Estado ecológico y Gestión del agua*.

Sánchez, M. (2011). *El biomonitoreo ambiental. Indices e indicadores para la aplicación de la Directiva Marco del Agua. Universidad de Murcia*. Recuperado el 2016, de http://ocw.um.es/ciencias/avances-ecologicos-para-la-sostenibilidad-de-los/material-de-clase-1/presentacion-leccion-12.pdf

Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., & Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México.* México, D.F.

Secretaría General de la Comunidad Andina, M. d. (2011). *Estudio sobre caudales ecológicos.* Quito - Ecuador.

Sierra, R. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental.* Quito-Ecuador: Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia.

Springer, M. (2010). Biomonitoreo Acuático. *Rev. Biol. Tropical, 58*, 53-59.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, L. V. (2015). Norma de Calidad del Recurso Agua.

Tomanova, S., Goitia, E., & Helesic, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 251-264.

UNESCO. (2003). *Water for people, water for life. Executive Summary of the UN World Water Development Report.* París, France : UNESCO-Mundi Prensa .

Vannote, R., Minshall, W., Cummins, K., Sedell, J., & Cushing, C. (1980). The River Continuum Concept. *Can, J. Fish. Aquat. Sci.*, 130-137.

Villacís, J. (2000). El Proyecto La Mica - Quito Sur. En P. Mena, & C. &. Josse, *El Páramo como fuente de recursos hídricos* (págs. 25-29). Quito: Serie Páramo 3. GTP/ Abya Yala.

Villamarín, C. (2008). *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú. Diseño de un Sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos - Universidad de Barcelona.* Barcelona.

Villamarín, C., Rieradevall, M., Paul, M., Barbour, M., & Prat, N. (2013). A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. *Ecological Indicators*, 79-92.

Ward, J., & Stanford, J. (1979). The ecology of regulated streams.

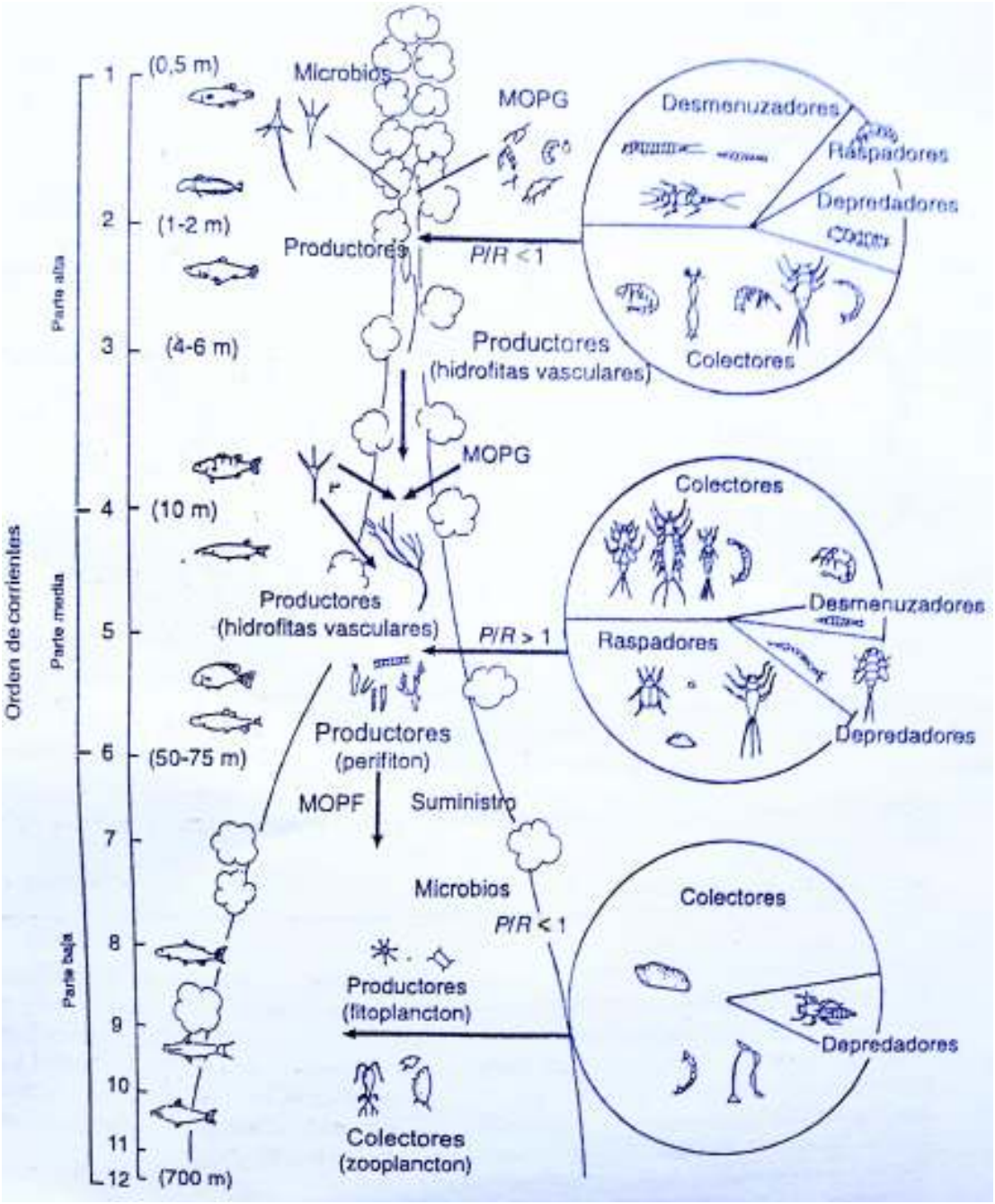
WWF, E. (2009). *Liberando ríos. Propuestas de WWF para el desmantelamiento de presas en España.* Madrid.

ANEXOS

ANEXO N° 1

CONCEPTO DE RÍO CONTINUO

Anexo 1.- Diagrama de Concepto de Río Continuo. Tomado de: (Roldán & Ramírez, 2008)



ANEXO N° 2

DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN RÍOS ALTOANDINOS DEL ECUADOR

Anexo 2.- Diversidad de macroinvertebrados en 15 ríos altoandinos del Ecuador, según (Jacobsen, 2008)

	Familia/subfamilia	*Ocurrencia*	*Densidad* (ind.m^{-2})	*Proporción media (% de densidad)*	*Grupo Funcional de Alimentación*
Non-insects Turbellaria	Planariidae	100	406	6.8	Predador
Nematoda		40	6	0.1	Predador
Oligochaeta		100	331	5.5	Colector
Hirudinea		33	3	0.0	Predador
Gastropoda	Lymnaeidae	7	3	0.0	Raspador
	Physidae	7	0	0.0	Raspador
	Planorbidae	7	0	0.0	Raspador
Bivalvia	Pisiidae	33	45	0.8	Filtrador
Amphipoda	Hyallelidae	100	277	4.6	Col/Triturador
Hydracarina		93	22	0.4	Predador
Insects Plecoptera					
	Perlidae*	47	35	0.6	Predador
	Gripopterygidae	13	10	0.2	Raspador/Col
Ephemeroptera	Baetidae	100	690	11.6	Col/Raspador
	Leptophlebiidae	20	21	0.4	Colector
Coleoptera	Elmidae	100	461	7.7	Raspador
	Scirtidae	73	15	0.3	Raspador
	Staphylinidae	13	1	0.0	Predador
Trichoptera	Anomalosychidae	20	6	0.1	Raspador/Col
	Calamoceratidae†	7	2	0.0	Triturador
	Glossosomatidae	60	123	2.1	Raspador
	Helicopsychidae	20	11	0.2	Raspador
	Hydrobiosidae	73	21	0.4	Predador
	Hydropsychidae	20	67	1.1	Filtrador
	Hydroptilidae	73	517	8.7	Raspador/Perforador
	Leptoceridae	47	6	0.1	Triturador?
	Limnephilidae	87	129	2.2	Triturador
Diptera	Blephariceridae	53	16	0.3	Raspador
	Ceratopogonidae	80	174	2.9	Predador
	Chironominae	40	30	0.5	Colector
	Empididae	87	83	1.4	Predador
	Ephydridae	13	1	0.0	Colector
	Diamesinae	40	12	0.2	Colector
	Dolichoridae	20	1	0.0	Predador
	Limoniidae	80	43	0.7	Predador
	Muscidae	20	2	0.0	Predador
	Orthocladiinae	100	2118	35.5	Colector
	Podonominae	87	82	1.4	Colector
	Psychodidae	40	28	0.5	Colector
	Simuliidae	100	147	2.5	Filtrador
	Tanypodinae	73	13	0.2	Predador
	Tipulidae	20	1	0.0	Triturador/Colector
TOTAL			5958	100	

ANEXO N° 3

PUNTUACIONES DEL ANDEAN BIOTIC INDEX (ABI) – PROTOCOLO CERA

Anexo 3.- Puntuaciones del Índice Biótico Andino (ABI) para las familias de macroinvertebrados acuáticos de los andes tropicales distribuidos desde los 2.000 msnm hasta el límite con las nieves perpetuas (Ríos-Touma *et al*., 2014).

Turbellaria		5
Hirudinea		3
Oligochaeta		1
Gasteropoda	Ancylidae	6
	Physidae	3
	Hydrobiidae	3
	Limnaeidae	3
	Planorbidae	3
Bivalvia	Sphaeriidae	3
Amphipoda	Hyalellidae	6
Ostracoda		3
Hydracarina		4
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
	Oligoneuridae	10
Odonata	Aeshnidae	6
	Gomphidae	8
	Libellulidae	6
	Coenagrionidae	6
	Calopterygidae	8
	Polythoridae	10
Plecoptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
Heteroptera	Veliidae	5
	Gerridae	5
	Corixidae	5
	Notonectidae	5
	Belostomatidae	4
	Naucoridae	5
Trichoptera	Helicopsychidae	10
	Calamoceratidae	10
	Odontoceridae	10
	Leptoceridae	8
	Polycentropodidae	8
	Hydroptilidae	6
	Xiphocentronidae	8
	Hydrobiosidae	8
	Glossosomatidae	7
	Hydropsychidae	5
	Anomalopsychidae	10
	Philopotamidae	8
	Limnephilidae	7
Lepidoptera	Pyralidae	4
Coleoptera	Ptilodactylidae	5
	Lampyridae	5
	Psephenidae	5
	Scirtidae (Helodidae)	5
	Staphylinidae	3
	Elmidae	5
	Dryopidae	5
	Gyrinidae	3
	Dytiscidae	3
	Hydrophilidae	3
	Hydraenidae	5
Diptera	Blepharoceridae	10
	Simuliidae	5
	Tabanidae	4
	Tipulidae	5
	Limoniidae	4
	Ceratopogonidae	4
	Dixidae	4
	Psychodidae	3
	Dolichopodidae	4
	Stratiomyidae	4
	Empididae	4
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
	Muscidae	2
	Ephydridae	2
	Athericidae	10
	Syrphidae	1

Estación:_____

Fecha:_____

Operador:_____

ANEXO N° 4

PROTOCOLO DE CONDICIONES DE REFERENCIA EN RÍOS ANDINOS

Anexo 4.- Condiciones de referencia en ríos Andinos (CERA) (Acosta *et al*., 2009)

CONDICIONES DE REFERENCIA EN RIOS ANDINOS

CERA
Calidad Ecológica de Ríos Andinos

	Apartado	Poco	Medio	Mucho
	CUENCA			
1.1	Cobertura de especies introducidas (Eucaliptos y Pinos especialmente)	5	3	1
1.2	Porcentaje de cobertura en pastos artificiales	5	3	1
1.3	Porcentaje de cobertura en usos urbanos	5	3	1
1.4	Ausencia de vegetación autóctona	5	3	1
1.5	Explotaciones mineras	5	3	1
1.6	Explotaciones ganaderas intensivas (intensivas)	5	3	1
	HIDROLOGÍA			
2.1	Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	5	3	1
2.2	Derivaciones de agua para hidroeléctricas azudes < 10m	5	3	1
2.3	Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	5	3	1
2.4	Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	5	3	1
2.5	Derivaciones para uso en minería	5	3	1
2.6	Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	5	3	1
	TRAMO (Incluye ribera y zona inundación)			
3.1	Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc…)	5	3	1
3.2	Canalización del río por terraplenes	5	3	1
3.3	Presencia de cultivos i/o vacas y pasto en la llanura de inundación	5	3	1
3.4	Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones…)	5	3	1
3.5	Falta de cubierta de la zona de ribera (árboles o arbustos)	5	3	1
3.6	% Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	5	3	1
	LECHO			
4.1	Sustrato del lecho totalmente artificial (p.e. cemento, escollera….)	5	3	1
4.2	Infraestructuras transversales (p.e. azudes, vados)	5	3	1
4.3	Presencia de efluentes directos al río	5	3	1
4.4	Contaminación orgánica evidente	5	3	1
4.5	Contaminación minera evidente	5	3	1
4.6	Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	5	3	1

El valor máximo del índice es de 120, el mínimo de 24.

Valores superiores a 100 son necesarios para poder considerar un punto como de referencia.

De todas formas un punto de referencia debe obtener como mínimo 20 puntos en cada apartado.

Especificaciones de cada Apartado

El significado de Poco, Medio o Mucho en cada caso se explica a continuación.

CUENCA

1.1 Poco < 10%, Medio 10-30%, Mucho>30%
1.2 Ídem
1.3 Poco<1%, Medio 1-10%, Mucho > 10%. Incluye la presencia de floriculturas.
1.4 Poco < 10%, Medio 10-50%, Mucho>50%
1.5 Poco: inexistente o de muy baja intensidad, Medio: 1 grande o varias de poca intensidad, Mucho: 2 grandes o muchas de pequeña intensidad
1.6 Poco: inexistente o mínimas, Medio: presencia de una gran explotación, Mucho: varias explotaciones grandes

HIDROLOGIA

2.1 Grandes presas (>10m). Poco: inexistente, Medio: 1, Mucho > 1
2.2 Reducción caudal. Poco<10%, Medio 10 -50%, Mucho >50%
2.3 Reducción caudal. Poco: sin trasvase, Medio < 25%, Mucho >25%. Incluir también trasvases de otras cuencas
2.4 Reducción caudal. Poco: sin desvío, Medio < 25%, Mucho >25% (Si hay múltiples pequeñas pasar de medio a mucho)
2.5 Reducción caudal. Poco: sin desvío, Medio < 25%, Mucho >25% (Si hay múltiples pequeñas pasar de medio a mucho)
2.6 Reducción caudal. Poco: sin desvío, Medio < 25%, Mucho >25% (Si hay múltiples pequeñas pasar de medio a mucho)

TRAMO

3.1 Poco: sin canalización, Medio < 25%, Mucho >25%
3.2 Poco: sin canalización, Medio < 50%, Mucho >50%
3.3 Poco: sin cultivos, Medio <50%, Mucho >50%
3.4 Poco: no hay, Medio: en uno de los lados, Mucho: en los dos lados (cubriendo >10%)
3.5 Poco: totalmente cubierto por vegetación nativa, Medio >50%, Mucho < 50%
3.6 Poco: sin especies introducidas, Medio <50%, Mucho > 50%

LECHO

4.1 Poco: nada, Medio <10%, Mucho >10%
4.2 Poco: ninguno, Medio: 1, Mucho > 1 (los puentes que cruzan el río no se incluyen)
4.3 Poco: no hay, Medio: 1 o 2 efluentes de poco caudal, Mucho: varios de poco caudal o uno de mucho caudal relativo al del río.
4.4 Poco: río transparente y sin olor, Medio: río turbio y poco olor, Mucho: espuma y mucho olor
4.5 Poco: no hay minas, Medio: río con sedimentos en suspensión, Mucho: sedimentos muy abundantes y conocimiento de pH muy ácido o muy básico
4.6 Poco: no hay o solo aisladamente, Medio: acumulaciones de forma aislada, Mucho: vertedero.

Apartados Restrictivos

	Apartados que pueden constituir por ellos mismos una restricción para declarar un punto como de referencia por su afectación grave (puntación 1 en el apartado):
Bloque 1	1.3, 1.5
Bloque 2	2.1, 2.3. (Respecto a los apartados 2.2, 2.4, 2.5, 2.6, solo se aplica si la derivación es próxima, pero no si se ha producido ya el retorno al río del agua derivada en puntos aguas debajo dela cuenca)
Bloque 3	3.1.

ANEXO N° 5

ÍNDICE DE HÁBITAT FLUVIAL (IHF) - PROTOCOLO CERA

Anexo 5.- Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF) (Pardo *et al*., 2002).

Punto de muestreo	
Fecha	Hora
Operador/a	

Bloques			Puntuación
1. Inclusión en rápidos-sedimentación en pozas			
Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%.	10	
	Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5	
	Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión > 60%.	0	
Sólo pozas	Sedimentación 0 - 30%	10	
	Sedimentación 30 - 60%	5	
	Sedimentación > 60%	0	
		TOTAL (una categoría)	
2. Frecuencia de rápidos			
	Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7	10	
	Escasa frecuencia de rápidos. Relación dicancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
	Presencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25	6	
	Constancia de flujo laminar o rápidos escasos. Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25	4	
	Sólo pozas	2	
		TOTAL (una categoría)	
3. Composición del substrato			
% Bloques y piedras	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Cantos y gravas	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Arena	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Limo y arcilla	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
		TOTAL (suma de categorías)	
4. Regimenes de velocidad / profundidad			
somero: < 0.5 m lento: < 0.3 m/s	4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.	10	
	Sólo 3 de las 4 categorías	8	
	Sólo 2 de las 4 categorías	6	
	Sólo 1 de las 4 categorías	4	
		TOTAL (una categoría)	
5. Porcentaje de sombra en el cauce			
	Sombreado con ventaras	10	
	Totalmente en sombra	7	
	Grandes claros	5	
	Expuesto	3	
		TOTAL (una categoría)	
6. Elementos de heterogeneidad			
Hojarasca	> 10% o < 75%	4	
	1 - 10% o > 75%	2	
Presencia de troncos y ramas		2	
Raíces expuestas		2	
Diques naturales		2	
		TOTAL (suma de categorías)	
7. Cobertura de vegetación acuática			
% Plecton + briófitos	10 - 50%	10	
	1 - 10% o > 50%	5	
% Pecton	10 - 50%	10	
	1 - 10% o > 50%	5	
% Fanerógamas	10 - 50%	10	
	1 - 10% o > 50%	5	
		TOTAL (suma de categorías)	
		PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)	

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

Inclusión en rápidos - sedimentación en pozas	10
Frecuencia de rápidos	10
Composición del substrato	20
Regimenes de velocidad / profundidad	10
Porcentaje de sombra en el cauce	10
Elementos de heterogeneidad	10
Cobertura de vegetación acuática	30

ANEXO N° 6

ÍNDICE DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA ANDINA (QBR-And)

Anexo 6.- Calidad de Ribera para Comunidades de Pajonales, Páramos y Punas (QBR-And)

ÍNDICE QBR-And
Calidad de la ribera de Comunidades de Pajonales de Páramos y Punas
Protocolo CERA

UNIVERSITAT DE BARCELONA
Grup de recerca F.E.M.
(Freshwater Ecology and Management)
Departament d'Ecologia

Estación	
Observador	
Fecha	

La puntuación de cada uno de los 3 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos

Grado de cubierta de la zona de ribera	Puntuación bloque 1
Puntuación	
25	> 80 % de cubierta vegetal de la ribera (Gramíneas y/o matorral y/o "almohadillas"
10	50-80 % de cubierta vegetal de la ribera
5	10-50 % de cubierta vegetal de la ribera
0	< 10 % de cubierta vegetal de la ribera
+ 10	si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es total
+ 5	si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es >50%
- 5	Si la conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es entre el 25-50%
-5	Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera <50%
-10	Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera >50%

Calidad de la cubierta	Puntuación bloque 2
Puntuación	
25	Todas las especies vegetales de ribera autóctonas (gramíneas, matorral o almohadillas)
10	Ribera con <25% de la cobertura con especies de introducidas (*Eucalyptus spp.*, *Pinus spp.*) o especies arbustivas secundarias (por efecto de sobrepastoreo)
5	Ribera entre 25-80% de la cobertura con especies introducidas o con arbustivas secundarias
0	Ribera con >80% de especies introducidas o arbustivas secundarias

Grado de naturalidad del canal fluvial	Puntuación bloque 3
Puntuación	
25	El canal del río no ha estado modificado
10	Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
5	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
0	Río canalizado en la totalidad del tramo
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río
-5	si hay basuras en el tramo de muestreo de forma puntual pero abundantes
-10	si hay un basurero permanente en el tramo estudiado

Puntuación final (suma de las anteriores puntuaciones)	

ANEXO N° 7

HOJA DE CAMPO – PROYECTO PIMI 14-06

Anexo 7.- Hoja de campo con las variables físico químicas, medición de caudal y macroinvertebrados.

HOJA DE CAMPO - PROYECTO PIMI 14-06		
FECHA:	HORA:	ESTACIÓN:
OBSERVADOR:		
RÍO:	UTM X:	UTM Y:
ALTITUD: msnm	LOCALIZACIÓN:	
CONDICIONES METEOROLÓGICAS: Sol ….. Nublado ….. Lluvia …..		LLUVIA EN LOS ÚLTIMOS 3 DÍAS SI….. NO …..
ETAPA DEL PROYECTO: Inicio ….. Desarrollo ….. Cierre …..		Método de muestreo

Variables Físico Químicas					
pH		Temperatura °C		Conductividad (uS/cm)	
Oxígeno (mg/l) - % Sat		STD (mg/l)			

OBSERVACIONES _____

_____

CAUDAL									
Distancia (cm)								AREA (cm2)	
Profundidad (cm)									
Revoluciones	0,2							CAUDAL (l/s)	
	0,6								
	0,8								
Velocidad (cm/s)									

MACROINVERTEBRADOS	
Ancho máximo: ……. Profundidad máxima …….	Velocidad del agua Rápido….. Moderado ….. Lento …..
% DE SUSTRATO: Bloques (> 25 cm)……. Cantos rodados (6-25 cm)……. Gravas (2 mm-6 cm) ……. Arena ……. Arcilla ……. Lodo …….	
Superficie de las rocas: Limpia……. Periphyton ……. Musgo……. Sedimento ……	
OBSERVACIONES _____ _____	

ANEXO N° 8

GRUPOS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN EL RÍO JATUNHUAYCO EN CADA PUNTO DE MUESTREO

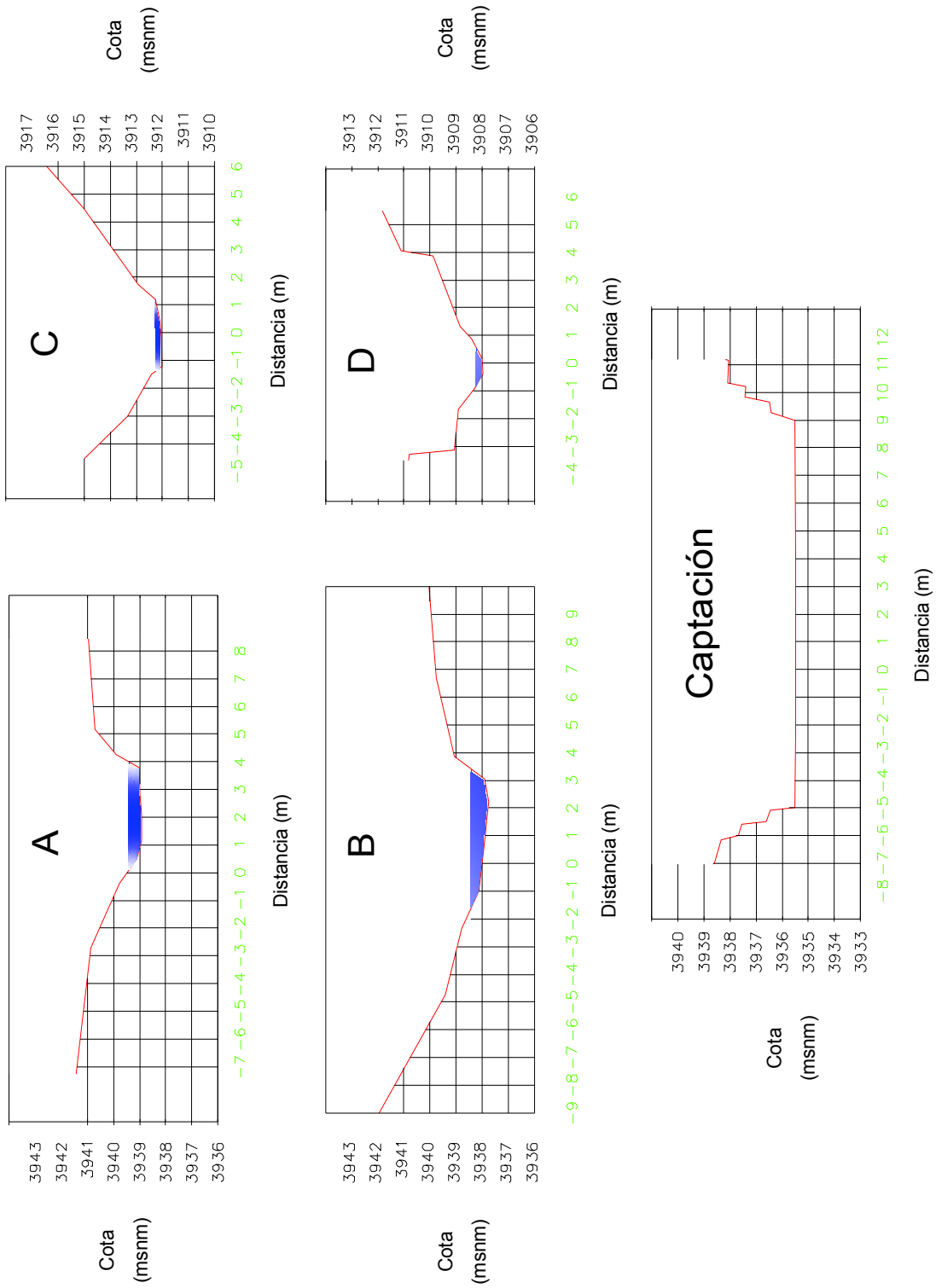
Anexo 8.- Composición de macroinvertebrados en los puntos muestreados del río Jatunhuayco, abundancia, riqueza, densidad, % EPT

FILO	CLASE / SUBCLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	MUESTREO 1				Total	MUESTREO 2				Total	TOTAL MUESTREOS	Grupo de alimentación
					A	B	C	D		A	B	C	D			
Nematomorpha		Gordioidea	Gordiidae		0	0	0	5	5	1	0	2	2	5	10	Predador
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia tigrina	5	19	127	91	242	35	45	128	97	305	547	Predador
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Haplotaxidae	Haplotaxida sp.	22	23	20	24	89	235	84	5	67	391	480	Colector
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	Glossiphonia sp.	3	11	3	0	17	15	10	2	2	29	46	Predador
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Psidium sp.	0	3	0	1	4	6	1	0	4	11	15	Filtrador
Arthropoda	Arachnida	Prostigmata	Hydrachnidae	Hydrachna sp.	0	0	1	0	1	0	1	2	1	4	5	Predador
	Melacostraca	Amphipoda	Hyallellidae	Hyalella inermis	248	312	187	226	973	927	903	119	129	2078	3051	Col/Triturador
	Entognatha	Poduromorpha	Poduridae		0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	Colector
		Symphypleona	Sminthuridae		0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	Colector
	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	Andesiops peruvianus	3	5	8	9	25	10	30	10	9	59	84	Colector
		Hemiptera	Mesoveliidae	Mesovelia sp.	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	Predador
		Coleoptera	Limnichydae	Lutrochus sp.	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	Colector
			Scirtidae	Prionocyphon sp.	3	4	2	5	14	3	2	5	13	23	37	Raspador
			Elmidae	Austrelmis leleupi	2	4	106	61	173	11	5	398	180	594	767	Raspador
			Elmidae	Austrelmis sp.	0	0	0	0	0	0	0	29	6	35	35	Raspador
		Trichoptera	Glossosomatidae	Mortionella sp.	1	3	337	130	471	34	26	229	50	339	810	Raspador
			Leptoceridae	Oecetis sp.	3	8	2	3	16	0	1	6	0	7	23	Triturador
			Limnephilidae	Anomalocosmoecus illiesi	9	31	194	126	360	103	59	393	305	860	1220	Triturador
			Hydroptilidae	Metrichia sp.	0	0	8	17	25	3	0	321	41	365	390	Raspador
			Hydrobiosidae	Atopsyche sp.	0	0	18	12	30	0	1	59	35	95	125	Predador
			Hydropsychidae	Smicridea	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	4	Filtrador
			Hellicopsychidae	Helicopsyche sp.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	Raspador
		Diptera	Chrironomidae (Chironominae)	Chironomus sp.	463	753	587	351	2154	1485	856	1098	808	4247	6401	Colector
			Chrironomidae (Tanypodinae)	Tanypodius sp.	13	37	43	9	102	116	13	45	67	241	343	Predador
			Simuliidae	Simullium sp.	1	1	6	11	19	12	45	27	4	88	107	Filtrador
			Empididae	Chelifera sp.	4	1	10	10	25	13	5	51	47	116	141	Predador
			Empididae	Hemerodromia sp.	0	0	0	0	0	0	1	6	0	7	7	Predador
			Tipulidae	Molophilus sp.	1	1	4	2	8	0	0	1	6	7	15	Col/Triturador
			Ephydridae		0	1	0	4	5	0	0	0	0	0	5	Colector
			Muscidae	Limnophora	0	0	0	0	0	2	0	1	1	4	4	Predador
ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS					781	1218	1668	1099	4766	3011	2088	2937	1876	9912	**14678**	
RIQUEZA DE TAXA (TOTAL FAMILIAS)					14	17	19	20	25	16	16	19	20	21	**27**	
DENSIDAD (Individuos/m^2)					964,2	1504	2059	1357	1471	3717	2578	3626	2316	3059	**2265**	
% EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera)					0,02	0,039	0,342	0,271	0,6726	0,05	0,056	0,347	0,235	0,687	**1,36**	

ANEXO N° 9

SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PUNTOS ANALIZADOS ALREDEDOR DE LA CAPTACIÓN

Anexo 9.- Secciones transversales de los puntos analizados en el río Jatunhuayco y Captación Jatunhuayco



ANEXO N° 10

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DEL RÍO JATUNHUAYCO ALREDEDOR DE LA CAPTACIÓN

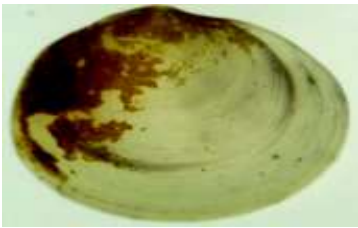
Anexo 10.- Principales parámetros físico – químicos del tramo de estudio analizado en el río Jatunhuayco alrededor de la captación (valores medios, mínimos y máximos).

	Parámetro	MUESTREO 1				MUESTREO 2			
		A	B	C	D	A	B	C	D
CAMPO	Caudal (l/s)	392,57	468,71	54,51	65,35	365,04	449,11	33,54	53,16
	Velocidad de la corriente (cm/s)	54,97 (30,49 - 89,73)	57,01 (20,32 - 93,1)	30,72 (13,52 - 50,38)	30,90 (8,46 - 68,23)	58,43 (29,43- 82,78)	60,58 (14,48 - 93,27)	44,85 (14,39 - 78,87)	37,21 (9,76 - 63,21)
	Profundidad (cm)	24 (10 - 39)	28,4 (17 - 39)	9 (5 - 15)	13,33 (6 - 23)	24,11 (15 - 35)	28,77 (15 - 40)	8,55 (4 - 15)	15,55 (7 - 28)
	Temperatura (°C)	12,8 (12,2 - 14)	11,7 (11,5 - 12,3)	12,2 (11,4 - 13,2)	11,4 (10,9 - 11,8)	13,5 (13 - 14,2)	12,8 (12 - 13,8)	12,2 (10,8 - 13,6)	13,2 (12,2 - 14)
	pH	7,5	7,3	8,3	8,4	8,3	7,7	8,9	8,9
	Conductividad (µS/cm)	200,4 (190,4 - 205,8)	214,4 (213 - 216,3)	218,4 (217,2 - 220,3)	220,8 (213,2 - 222,5)	244,5 (243,1 - 245,9)	248,5 (214,1 - 256,3)	246,3 (177,2 - 258,3)	255,2 (244,4 - 258,7)
	STD (mg/l)	107,9 (102,8 - 111,1)	115,3 (112,3 - 116,1)	118,1 (117 - 119,2)	118,3 (112,4 - 120)	125,8(125,1 - 126,7)	123,0 (102,4 - 128,2)	128,5 (106,6 - 132,7)	125,0 (101,3 - 129)
	OD (mg/l)	10,8 (10,22 - 11,67)	10,6 (10,24 - 11,04)	9,4 (9,2 - 9,59)	9,1 (8,95 - 9,37)	10,1 (8,57 - 11)	9,3(9,11 - 9,93)	9,7 (9,08 - 10,1)	9,4 (9,18 - 9,84)
	% OD Sat	69,9 (62,1 - 76,4)	69,1 (67,8 - 70,9)	61,4 (59,4 - 63,8)	57,5 (55,9 - 59,7)	69,3 (55,7 - 74)	61,0 (58,2 - 65,4)	65,1 (63,6 - 66,8)	63,2 (62,8 - 63,7)
LABORATORIO	Sólidos Totales	220,88 (196 - 244)	222,88 (214 - 232)	214,66 (208 - 230)	198,66 (178 - 210)	211,11 (180 - 254)	209,11 (198 - 240)	225,55(186 - 242)	232,88 (212 - 256)
	Sólidos Suspendidos	22,22 (14 - 28)	18 (10 - 24)	4,5 (2 - 8)	14 (6 - 28)	66 (48 - 98)	32,2 (28 - 42)	16,45 (6, - 26)	19,55(12 - 26)
	NO_3^- (mg/l)	0,28 (0,1 - 0,6)	0,24 (0,1 - 0,6)	0,4 (0,2 - 0,7)	0,25 (0,2 - 0,4)	0,22 (0,1 - 0,4)	0,26 (0,1 - 0,5)	0,21 (0,1 - 0,3)	0,2 (0,1 - 0,3)
	$(PO4)^{3-}$ (mg/l)	0,99 (0,526 - 1,736)	0,67 (0,59 - 0,93)	0,56 (0,48 - 0,77)	0,47 (0,39 - 0,55)	0,74 (0,52 - 0,97)	0,98 (0,77 - 1,41)	0,67 (0,51 - 0,96)	0,83 (0,53 - 1,34)
	NH_4^+ (mg/l)	0,20(0,17 - 0,24)	0,20 (0,185 - 0,22)	0,13(0,11 - 0,16)	0,10 (0,06 - 0,14)	0,13 (0,12 - 0,17)	0,11 (0,09 - 0,14)	0,06 (0,05 - 0,08)	0,08 (0,06 - 0,12)
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	150	68	36	45	220	91	68	72

ANEXO N° 11

PRINCIPALES GRUPOS DE MACROINVERTEBRADOS RECOLECTADOS EN EL RÍO JATUNHUAYCO. INDENTIFICACIÓN Y GENERALIDADES

Clase: Turbellaria		
Orden: Tricladida		
Familia: Planariidae	Elaborado: (Carvajal, V., 2016)	Pertenece a los llamados gusanos planos o planarias (platelmintos). Miden entre 2 y 4 cm. Viven en aguas estancadas, en remansos de las quebradas o de poca corriente, la presencia aumenta con la contaminación orgánica. Son de nutrición omnívora y de simetría bilateral. Posee gran capacidad de regeneración. Es un depredador.
Clase: Hirudinea		
Orden: Rhynchobdellida		
Familia: Glossiphoniidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	A este grupo corresponde los gusanos con ventosas conocidos como sanguijuelas. Tienen un cuerpo conformado por 32 segmentos y dos ventosas. Se desplazan lentamente. Miden entre 0,7 a 10 cm. Son abundantes en zonas de remanso con abundante vegetación acuática y se adhiere en las raíces. La presencia se interpreta como indicador de agua contaminada con materia orgánica. Es un predador.
Clase: Oligochaeta		
Orden: Haplotaxida		
	Elaborado: (Gamarra, Y. 2012)	A este grupo pertenecen las lombrices de agua, se consideran un indicador de contaminación y pueden ser especies rojas o blancas según el hábitat y necesidad de oxígeno disuelto. Viven en remansos de los sistemas lóticos, en sedimentos suaves o vegetación acuática. Se alimentan de detritus, bacterias y algas.

Clase: Bivalvia		
Orden: Veneroida		
Familia: Sphaeriidae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Se caracteriza por tener valvas frágiles y pequeñas (menos de 10 mm). Tiene forma redonda-ovalada. Se encuentran en los sustratos blandos en ríos, arroyos o lagunas. Otras especies se adhieren a superficies duras como piedras. Se alimentan filtrando agua. Es una especie hermafrodita de tipo simultáneo y presentan algún tipo de protección de los embriones en desarrollo.
Clase: Arachnida		
Orden: Trombidiformes		
Familia: Hydrachnidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Los ácaros acuáticos son un grupo muy variado, tienen cuerpos redondos con ocho patas y el aparato bucal incluye un par de palpos. Son abundantes en aguas de movimiento lento o remansos, en las orillas entre vegetación sumergida, siendo tolerantes a aguas con materia orgánica en descomposición. Los adultos son predadores, en estado inmaduro son parásitos de otros macroinvertebrados.
Clase: Melacostraca		
Orden: Amphipoda		
Familia: Hyallelidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Se los conoce como camarones de agua dulce. Tiene un cuerpo dividido en 13 segmentos que se agrupan en cabeza-tórax-abdomen. Este se caracteriza por tener el último segmento de la cola entero y por tener un par de apéndices en cada tórax. Mide desde 2,5 a 30 mm. Su tamaño depende de la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua. Se encuentra en la periferia bentónica de los cuerpos de agua, sean lagos, charcas, ríos, manantiales y hasta en aguas subterráneas. Estos organismos no son tolerantes a la contaminación. La mayoría de especies son detritívoras y oportunistas.

Clase: Insecta		
Orden: Ephemeroptera		
Familia: Baetidae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Las ninfas son acuáticas, de tamaño menor a 10 mm. Cabezas bien definidas y redondeadas con antenas visibles. Son buenos nadadores y su cuerpo aplanado les permite arrastrarse entre el bentos de corriente y cascadas del sistema lotico. Son cosmopolitas y se encuentra debajo de los troncos, rocas, hojas y adherido a vegetación sumergida. Es un colector que se alimenta de perifitón y material vegetal. Es indicador de agua meso-oligotrófica o aguas corrientes y limpias con alta oxigenación.
Orden: Coleoptera		
Familia: Scirtidae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	En la familia de los Scirtidae los adultos son terrestres. Las larvas son aplanadas, alargadas y tienen antenas bastante largas. Miden entre 5 y 15 mm. Son comunes en hábitats lénticos. Se alimenta de material vegetal o de material en descomposición, son detritívoros y herbívoros, suelen pupar en el suelo o entre el musgo, algunas especies pupan dentro del agua.
Familia: Elmidae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	En la familia de los Elmidae las larvas como la gran mayoría de los adultos son acuáticos. Los adultos son pequeños (1-15 mm) y de color oscuro. No son nadadores, pero se desplazan sobre el sustrato caminando lentamente. La mayoría vive en aguas corriente, con alto contenido de oxígeno, pero algunas especies pueden encontrarse en aguas estancadas. Las larvas se encuentran junto a los adultos en el mismo ambiente y puede llegar hacer muy numerosas. Son colectores, herbívoros.

Orden: Trichoptera		
Familia: Glossosomatidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Larvas con pseudopatas anales. Construyen capullos con forma de caparazón de tortuga, con dos orificios ventrales, por el anterior asoman la cabeza y las patas torácicas. El tipo de construcción no permite el agrandamiento a medida que crece la larva, por lo que en cada estadio deben desechar el viejo capullo y construir un nuevo más grande. Antes de empupar la larva corta y descarta la parte ventral de su capullo. Se encuentra en agua con mucha corriente, bastante oxigenada. Son indicadores de aguas oligotróficas. Es un raspador que se alimenta de material vegetal en descomposición o del perifitón y troncos sumergidos.
Familia: Leptoceridae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Los adultos tienen antenas mucho más largas que el cuerpo, que es delgado, recto, frágil. Las larvas miden entre 7 y 15 mm y tienen patas posteriores muy prolongadas y mandíbulas bien desarrolladas, con antenas evidentes. Construyen capullos cónicos con materiales diversos (piedras, arena, hojas). Se encuentran en ríos con corriente lenta bien oxigenados y sustrato pedregoso; se alimentan sobre todo de materia orgánica particular y son indicadores de aguas oligotróficas.
Familia: Limnephilidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Las larvas se reconocen por una prolongación fuertemente arqueada en el esterno del protórax denominada cuerno prosternal. Pueden medir has 15 mm de largo. Se alimentan de detritos y construyen casas o refugios de diferentes materiales, como pedazos de plantas o piedras. Viven en lagos y ríos de agua fría y bien oxigenada.

Familia: Hydroptilidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Los primeros cuatro estadios larvales son minúsculos, tienen cuerpo alargado, patas semejantes, pseudopatas anales largas y no construyen capullos. Al pasar al quinto y último estadio larval construyen un capullo de seda, el cual también usaran para empupar. Los capullos son cilíndricos o aplanados. Viven mayormente en aguas corrientes lénticas. Son indicadores de agua oligotróficas.
Familia: Hydrobiosidae	Elaborado: (Carvajal, V., 2016)	Miden de 10 a 12 mm. No construyen casas. Las larvas tienen patas anteriores prensiles y robustas para agarrar a sus presas, pues predadores y tienen pseudopatas anales largas. Se encuentran en aguas corrientes frías y bastante oxigenadas. Las larvas están mayormente adheridas a sustratos pedregosos con poco material vegetal. Son indicadores de aguas oligotróficas.
Familia: Hydropsychidae	Elaborado: (Gamarra, Y. 2012)	Las larvas habitan es sistemas lóticos (zonas de corriente moderada y fuerte), donde construyen refugios fijos ubicados en los intersticios entre las piedras en forma de redes para filtrar la materia orgánica en suspensión y capturar detritus para alimentarse. Las larvas son fácilmente reconocidas por branquias ramificadas en el abdomen y su piel densamente cubierta de setas y pelos cortos. El cuerpo de estas larvas por lo general es fuertemente curvado y mide en su madurez, entre 4-17 mm de largo. Toleran aguas con contaminación moderada y se considera indicadores de aguas oligo a eutróficas.

Familia: Hellicopsychidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Las larvas se reconocen fácilmente por sus capullos con forma de caracol, tienen una uña anal que posee una hilera de dientes en forma de peine. Son insectos poco tolerantes a cambios de ecosistema por lo que tienen alto valor como indicador de calidad de los ríos. Las larvas se encuentran en aguas con corriente de todo tipo. Se alimentan rapando algas y detritus de la superficie superior de las piedras.
Orden: Diptera		
Familia: Chironomidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Los Chironómidos adultos son dípteros pequeños (de 2 a 10 mm), muy parecidos a mosquitos. Las larvas son generalmente acuáticas, de cuerpo alargado y tubular, con doce segmentos abdominales bien definidos, cabeza bien desarrollada y pequeña; no poseen patas. Se encuentran en arroyos y lagos, aunque se pueden encontrar también en pozos, heces de animales y prácticamente en cualquier ambiente húmedo. Algunas larvas viven en tubos hechos de gran variedad de materiales, pueden ser piedras o troncos pegados, o en la arena, otras especies viven libremente en el fondo del cuerpo de agua. Son detritófagas, se alimentan de mezclas de algas, bacterias y materia orgánica que encuentran en los sedimentos. Toleran bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Indicadoras de aguas mesoeutróficas.
Familia: Simuliidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	En la familia Simuliidae, los adultos son terrestres de cuerpo pequeño, robusto, color marrón oscuro (moscas negras). Las larvas acuáticas son elongadas (3 – 15 mm), con cuerpo en forma de botella; al final del abdomen tienen unas ventosas y un par de ganchos que les sirven para fijarse en las rocas o troncos, en lugares en donde la corriente es fuerte. Miden de 3 a 15 mm. Son filtradoras de detritus, el cual capturan de la corriente a través de unos plumones bucales a manera de red. Son indicadoras de aguas oligotróficas.

Familia: Empididae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Los adultos de esta familia se encuentran cerca de los sistemas acuáticos, llamadas "moscas danzantes". Las larvas son pequeñas (3-15 mm), blancas y con cabeza reducida, con lóbulos caudales o pequeños tubérculos que terminan en finas setas y con 7-8 pares de propatas abdominales. Se hallan en los márgenes de los sistemas lóticos y lénticos, entre detritus. Existen larvas predadores o desmenuzdores. Son indicadores de aguas mesoeutrófica.
Familia: Tipulidae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	En la familia Tipulidae los adultos son terrestres, de cuerpo delgado y oscuro, patas delgadas y largas, alas angostas. Sus larvas son terrestres, semiacuáticas y acuáticas, de colores opacos a oscuros, cuerpo cilíndrico terminado en un espiráculo con tentáculos cortos. Miden de 3 a 50 mm., cabeza invisible por ser completamente retráctil al tórax. Se los encuentra en las orillas de aguas rápidas o en los remansos con material vegetal sumergido y materia orgánica en descomposición. Algunas especies son predadoras, otras herbívoras y perifitófagas. Presentan una moderada tolerancia a cambios en la concentración de materia orgánica.
Familia: Ephydridae	 Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	Esta familia las larvas poseen órganos respiratorios bifurcados en la parte posterior de su cuerpo. Tienen sectas alrededor de cuerpo y dependiendo de la especie pueden tener patas falsas. Se los encuentra en todo tipo de ambientes (pozos petroleros, aguas sulforosas o salinas)

Familia: Muscidae	Elaborado:(Carvajal, V., 2016)	En esta familia los adultos son terrestres; su tamaño va de 3 - 10 mm. Se encuentran asociados a materia orgánica en descomposición. Las larvas pueden ser terrestres, semiácuaticas y acuáticas, con colores que oscilan entre blanco a ocre oscuro; tienen forma cilíndrica y alargada, con una leve depresión v miden de 6 a 14 mm. Habitan en las zonas de remanso asociadas a materia orgánica en descomposición. Algunas son predadoras y otras carroñeras. Son indicadores de agua contaminada con materia orgánica en descomposición.

FUENTE: (Roldán, 1989; Prat & Rieradevall, 2011; Domínguez & Fernández, 2009 y Lebrunet *et al*., 2008; Encalada *et al*, 2011)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2016

ANEXO N° 12

ANEXO FOTOGRÁFICO

Anexo 12-a.- Abundancia de macrófitas aguas arriba de la captación (valle)

Anexo 12-b.- Ribera erosionada y presencia de estiércol de ganado (valle)

Anexo 12-c.- Obra de captación Jatunhuayco y sus efectos

Anexo 12-d.- Sustrato grueso y estable con musgos y hepáticas (Quebrada)

Anexo 12-e.- Estructura sólida en el punto D (luego de la Captación)

ELABORACIÓN: Soria, I., 2015