



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO
INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL
RÍO COLCAQUI, DISTRITO DE TAMBURCO,
ABANCAY - APURÍMAC, 2017”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

PRESENTADO POR
BACH. LISSETH PAMELA PIZAN SALDAÑA

APURÍMAC - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mis padres Manuel y Eulalia por el apoyo incondicional en mi formación.

A mi esposo Luis por la motivación y apoyo en mi carrera profesional.

A mis hermanos Geiner, Kelly, Edy, Yorwi, Ariceli y Gabriela por el apoyo incondicional en mi carrera profesional.

A mis sobrinos Fernando, Brenda, Camila, Romario, Samir, Sofía, Lorents y Emma por el entusiasmo brindado.

A mis cuñados Rosario, Milagros y Marcos, mi suegra Casilda y mi tía Virginia, por el apoyo en el desarrollo de mi tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la bióloga Patricia Hanco Bustinza por el apoyo brindado en la investigación y asesoramiento de mi tesis, desde la etapa inicial hasta la final y por la facilitación que me brindo en el análisis de laboratorio.

Agradezco al Dr. Wilson Mollocondo Flores por el asesoramiento metodológico y por brindarme sus recomendaciones, para la mejora de mi tesis.

Agradezco al laboratorio referencial de Salud Pública de la Dirección de Salud de Apurímac (LRSP – DIRESA) por su colaboración con el estereoscopio, en el análisis de los macroinvertebrados.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I.....	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Caracterización de la realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.2.1. Problema general.....	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. General.....	14
1.3.2. Específicos	14
1.4. Justificación.....	15
1.5. Importancia.....	15
CAPÍTULO II	16
II.FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.1. Marco referencial	16
2.1.1. Antecedentes de la investigación	16
2.1.1.1. <i>Tesis Internacionales</i>	16
2.1.1.2. <i>Tesis Nacionales</i>	18
2.2. Marco teórico	20
2.2.1. Agua	20
2.2.2. Contaminación del agua.....	21
2.2.3. Calidad del agua	21
2.2.3.1. <i>Evaluación de calidad de agua</i>	21
2.2.4. Macroinvertebrados acuáticos	22
2.2.5. Macroinvertebrados como bioindicadores	23
2.2.5.1. <i>Tipos de habitat de los macroinvertebrados acuáticos</i>	24
2.2.5.2. <i>Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos</i>	26
2.2.5.3. <i>Adaptaciones de los macroinvertebrados a la vida en el agua</i>	28
2.2.5.4. <i>Adaptaciones alimenticias de los macroinvertebrados acuáticos</i>	30
2.2.5.5. <i>Importancia ecológica de los macroinvertebrados acuáticos</i>	31
2.2.5.6. <i>Ventajas del uso de macroinvertebrados acuáticos</i>	31

2.2.5.7.	<i>Identificación de los macroinvertebrados acuáticos</i>	32
2.2.5.8.	<i>Principales órdenes de macroinvertebrados</i>	32
2.2.5.9.	<i>Métodos de recolección y tratamiento de las muestras</i>	34
2.2.6.	Medición de la diversidad y abundancia de macroinvertebrados	37
2.2.6.1.	<i>Medición de la riqueza específica</i>	38
2.2.6.2.	<i>Índices de abundancia proporcional</i>	39
2.2.7.	Índices bióticos para el análisis de la calidad del agua	41
2.2.7.1.	<i>Índice de monitoreo biológico adaptado para Colombia (BMWP-Col)</i>	41
2.2.8.	Evaluación de la calidad ecológica de los ríos	43
2.2.8.1.	<i>Protocolo Evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos</i>	43
2.2.8.2.	<i>Evaluación de la calidad del hábitat fluvial (IHF)</i>	44
2.2.8.3.	<i>Índice de la calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And)</i>	45
CAPÍTULO III		47
III. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO		47
3.1.	Tipo de la investigación	47
3.2.	Nivel de la investigación	47
3.3.	Diseño de la investigación	47
3.4.	Variable	48
3.4.1.	Variable Univariable	48
3.5.	Cobertura de estudio	48
3.5.1.	Universo	48
3.5.2.	Población	48
3.5.3.	Muestra	49
3.6.	Técnicas e instrumentos	49
3.6.1.	Técnicas de la investigación	49
3.6.2.	Instrumentos de la investigación	49
3.6.3.	Fuentes	49
3.7.	Procesamiento estadístico de la información	50
3.7.1.	Estadísticos	50
3.7.2.	Representación	50
3.8.	Método	50
3.8.1.	Área de estudio	50
3.8.1.1.	<i>Ubicación geográfica del río Colcaqui</i>	50
3.8.1.2.	<i>Ubicación hidrográfica del río Colcaqui</i>	51
3.8.2.	Fase de campo	51
3.8.2.1.	<i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	51

3.8.2.2.	<i>Periodo de muestreo</i>	53
3.8.2.3.	<i>Colecta de macroinvertebrados acuáticos y análisis en el laboratorio</i>	53
3.8.2.4.	<i>Caracterización ecológica</i>	54
3.8.2.5.	<i>Datos hidrológicos</i>	54
3.8.3.	Índice de diversidad y abundancia	56
3.8.3.1.	<i>Composición de macroinvertebrados presentes en el río Colcaqui</i>	56
3.8.3.2.	<i>Índice de Margalef</i>	56
3.8.3.3.	<i>Índice Simpson</i>	56
3.8.3.4.	<i>Índice Shannon-Wiener</i>	57
3.8.4.	Índice biótico	57
3.8.4.1.	<i>Índice BMWP/Col</i>	57
3.8.5.	Índice ecológico	57
3.8.5.1.	<i>Índice de hábitat fluvial</i>	58
3.8.5.2.	<i>Índice de QBR-And</i>	58
CAPITULO IV		59
IV. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		59
4.1.	Resultados	59
4.1.1.	Índice de diversidad y abundancia	59
4.1.1.1.	<i>Composición de macroinvertebrados presentes en el río Colcaqui</i>	59
4.1.1.2.	<i>Índice de Margalef</i>	59
4.1.1.3.	<i>Índice de Simpson</i>	63
4.1.1.4.	<i>Índice de Shannon - Wiener</i>	65
<i>Fuente: Elaboración Propia</i>		65
4.1.2.	Índices bióticos	66
4.1.2.1.	<i>Índice BMWP/Col</i>	66
4.1.3.	Índice ecológico	67
4.1.3.1.	<i>Índice de hábitat fluvial</i>	67
4.1.3.2.	<i>Índice de QBR-And</i>	68
4.1.	Discusión de resultados	69
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		73
ANEXOS		77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1 Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos	32
Tabla 2 Esquema de clasificación de las aguas contaminadas de Wilhm y Dorris	40
Tabla 3 Esquema de clasificación de las aguas contaminadas de Staub et al.....	41
Tabla 4 Puntaje de macroinvertebrado acuáticos para el índice BMWP/Col.....	42
Tabla 5 Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col.....	43
Tabla 6 Rangos del Hábitat Fluvial (IHF)	45
Tabla 7 Rangos de Calidad de conservación de ribera para el QBR-And.....	46
Tabla 8 Ubicación y descripción de los puntos evaluados	53
Tabla 9 Caracterización física por puntos de muestreo en la época de mayor precipitación ..	55
Tabla 10 Caracterización física por puntos de muestreo en la época de menor precipitación	55
Tabla 11 Abundancia y riqueza específica de macroinvertebrados en la época húmeda	60
Tabla 12 Abundancia y riqueza específica de macroinvertebrados en la época húmeda	62
Tabla 13 Índice de Dominancia (Índice de Simpson) por zona estudiada en el río Colcaqui .	63
Tabla 14 Índice de Abundancia (Índice de Shannon) por zona estudiada en el río Colcaqui .	65
Tabla 15 Resultado del Índice Biótico BMWP/Col en el río Colcaqui	66
Tabla 16 Índice de Hábitat Fluvial por zona estudiada en el río Colcaqui	67
Tabla 17 Índice de QBR-And por zona estudiada en el río Colcaqui.....	68
Tabla 18 Resultado de los Índices Ecológicos en el río Colcaqui	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1 Niveles de organización y uso de indicadores biológicos	24
Figura 2 Zonación de un ecosistema acuático léntico	26
Figura 3 Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático	27
Figura 4 Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático	27
Figura 5 Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático	28
Figura 6 Adaptaciones de los macroinvertebrados a la respiración hidropnéustica	29
Figura 7 Adaptaciones de los macroinvertebrados a la respiración aeropnéustica.....	30
Figura 8 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la cuenca del río Colcaqui.....	52
Figura 9 Índice de Margalef (Riqueza específica) en la época húmeda	61
Figura 10 Índice de Margalef (Riqueza específica) en la época seca	63
Figura 11 Índice de Abundancia de Simpson Época Húmeda.....	64
Figura 12 Índice de Abundancia de Simpson Época Seca.....	64
Figura 13 Índice de Shannon-Wiener Época Húmeda.....	65
Figura 14 Índice de Shannon-Wiener Época Seca.....	66
Figura 15 Índice BMWP/Col	67

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la calidad del agua del río Colcaqui, utilizando macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad. Para el estudio se establecieron nueve puntos de muestreo. En la recolección de los macroinvertebrados se utilizó dos métodos; el sustrato artificial y la recolección manual. Se analizó cada macroinvertebrado hasta el nivel de familia en el laboratorio de la DIRESA utilizando un estereoscopio y guías de identificación de Roldán (1988). Para determinar la calidad del agua se utilizó el índice biótico BMWP/Col. El análisis de este índice muestra que el agua del río Colcaqui es aceptable. Se complementó el estudio con los índices ecológicos e índice de diversidad alfa. Donde los índices ecológicos muestran una calidad de agua buena; entre tanto el índice de diversidad indica una calidad de agua aceptable. El resultado final del estudio fue que el río Colcaqui muestra en todo su curso según el índice biótico una calidad de agua de clase II: aguas aceptables; consideradas como aguas ligeramente contaminadas, donde se evidencia efectos de la contaminación producto de la actividad antrópica.

Palabras clave: Macroinvertebrados, índice biótico, índice de diversidad alfa e índice ecológico.

ABSTRACT

The objective of this investigation is to determine the water quality of Colcaqui River, using aquatic macroinvertebrates as quality indicators. For the study, nine sampling points were established. In the collection of macroinvertebrates, two methods were used; the artificial substrate and manual collection. Each macroinvertebrate was analyzed up to the family level in the DIRESA laboratory using a stereoscope and identification guides from Roldán (1988). To determine the quality of the water, the biotic indices BMWP/Col were used; the analysis of these indices showed that the water of Colcaqui River is acceptable. The study was complemented with ecological indexes and alpha diversity index. Where the ecological indexes show good water quality; while the diversity index indicates acceptable water quality. The final result of the study was that Colcaqui River shows in its entire course a class II water quality: acceptable waters; which are slightly polluted waters, where the effects of pollution are evident as a result of anthropogenic activity.

Key words: Macroinvertebrates, Biotic index, Alpha diversity index and ecological index.

INTRODUCCIÓN

Es fundamental asegurar la calidad del agua de un río que es usado para la agricultura y bebida de animales, para reducir la exposición significativa a enfermedades ligadas a la contaminación del agua y poder preservar especies acuáticas. Es por ello que muchos científicos han determinado un método de monitoreo que utiliza a seres vivos para determinar la calidad del agua. Este método es conocido como bioindicador ambiental.

Los bioindicadores ambientales dan una perspectiva global del estado ecológico de una cuenca. En los países europeos como Inglaterra, Francia, España y países americanos como Estados Unidos, Colombia, Argentina y Chile han desarrollado índices de medición llamados índices bióticos, donde su principal estudio es la macrofauna bentónica con la cual se determina la calidad del agua. En esta medición biótica también es necesaria el estudio de diversidad de especies, hábitad fluvial y la comunidad arbórea, que contribuyen a dar un diagnóstico global de la calidad del agua. Así mismo si se desea también puede hacerse las mediciones tradicionales (parámetros físicos, químicos y biológicos) que ayudarán a respaldar el uso de los bioindicadores ambientales.

Los macroinvertebrados bentónicos o acuáticos como también son llamados han sido ampliamente estudiados en América Latina por el investigador argentino Eduardo Domínguez de la Universidad Nacional de Tucumán y el colombiano Gabriel Roldán Pérez de la Universidad Nacional de Antioquia. Roldán (2003), propuso el método del índice de monitoreo biológico adaptado para Colombia (BMWP/Col), que es una adaptación del biological monitoring working party (BMWP) establecido en Inglaterra para medir la calidad del agua utilizando a los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua. La adaptación de Roldán al país latino Colombia, ayudo a impulsar estudios de macrofauna en países vecinos como: Perú, Venezuela, Ecuador, Bolivia, entre otros.

El estudio de la macrofauna consiste básicamente en analizar la presencia de macroinvertebrados presentes en la cuenca. Se puede decir que si se encuentran macroinvertebrados de las familias perlidae, ephemeridae, leptophlebiidae se habla de aguas limpias que están conservando su estado prístino. Si se encuentran macroinvertebrados de las familias de muscidae, elmidae leptoceridae indicará que las aguas donde están habitando estos especímenes están siendo perturbadas por la actividad antrópica.

Los macroinvertebrados cumplen con los requisitos de indicadores biológicos ambientales por ser una de las especies que se puede ubicar a simple vista, pueden encontrarse miles de ellos en un metro cuadrado, están dentro de la red trófica y se ubican en todo el globo terráqueo. Por lo que los convierte en indicadores fiables para la medición de la calidad del agua y pueden ser usados con facilidad a comparación de los métodos tradicionales.

Prat (citado por Roldan, 2003), hace una comparación de las ventajas y desventajas que ofrecen los métodos químicos y biológicos. Entre las ventajas ofrecidas por los métodos químicos están: la observación de los cambios temporales detallados, la determinación precisa de un contaminante determinado y la fácil estandarización. Entre las desventajas: la posible contaminación de las muestras, la falta de integración temporal y los costos elevados. En cuanto a los análisis biológicos, tienen la ventaja de hacer integraciones espaciales y temporales, realizar estudios de bioacumulación, dar respuesta a contaminaciones crónicas y puntuales y medir la degradación del hábitat. Con relación a las desventajas, están la sensibilidad temporal baja y las dificultades de cuantificación y estandarización.

CAPÍTULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización de la realidad problemática

La calidad del agua de un río asegura la continuidad de muchas especies y el desarrollo económico de la región. Es por ello que en la presente investigación se estudiará un método de monitoreo que utiliza a seres vivos (macroinvertebrados) para determinar la calidad del agua.

Los macroinvertebrados son insectos que pueden ser usados como indicadores ambientales de la calidad del agua y pueden dar un resultado actual del estado del agua de un río y determinar si es de buena calidad o mala calidad. Para llegar a ese resultado se utilizará índices bióticos, índices de diversidad y ecológicos. Donde se realizará un estudio de las familias presentes de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua en el río Colcaqui que está ubicado en el distrito de Tamburco de la provincia de Abancay de la región de Apurímac, el río se origina en la lagunilla de Yanacocha y de los manantiales de Ccocha, desde donde toma nombre de Uchuccara, hasta el riachuelo de San Gabriel Huayco; desde este lugar se denomina río Colcaqui hasta su desembocadura en el río Mariño. El uso de las aguas del río ha ocasionado que en las tres zonas de la cuenca (Alta, media y baja) se vean

alteradas con construcciones de canales, reservorios, presencia de cultivos, ganadería, lavaderos de vehículos y centros recreacionales a la orilla del río.

Esta alteración está ocasionando que en la parte media de la cuenca ya no haya presencia de agua, en épocas de sequía (ausencia de lluvias) quedando únicamente el cauce del río; y por ende la deformación del ecosistema de la ribera del río Colcaqui.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida los macroinvertebrados acuáticos determinan la calidad del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017?

1.2.2. Problemas específicos

- ❖ ¿Cómo determinar la calidad del agua mediante la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Colcaqui, durante el año 2017?
- ❖ ¿De qué manera los parámetros biológicos determinan la calidad del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017?
- ❖ ¿Cómo determinar calidad del agua mediante el estado ecológico del río Colcaqui, durante el año 2017?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Analizar a los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017.

1.3.2. Específicos

- ❖ Determinar la calidad del agua mediante la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos utilizando el índice de diversidad alfa en el río Colcaqui, durante el año 2017.

- ❖ Determinar la calidad del agua del río Colcaqui mediante los parámetros biológicos utilizando el índice biótico, durante el año 2017.
- ❖ Determinar la calidad del agua mediante el estado ecológico del río Colcaqui utilizando los índices ecológicos, durante el año 2017.

1.4. Justificación

Actualmente los macroinvertebrados son uno de los indicadores ambientales más usados para determinar la calidad del agua, que demuestran datos fiables y son una de las especies que se puede encontrar en todos los ambientes acuáticos, y que cumplen con los requisitos de indicadores biológicos.

Para la determinación de la calidad del agua utilizando indicadores biológicos como macroinvertebrados también es necesario usar índices bióticos, índices de diversidad, índices ecológicos, que ayudarán a tener una mejor visión del estado de la calidad del agua del río Colcaqui.

Es por todo lo expuesto anteriormente que se ha decidido estudiar a los macroinvertebrados acuáticos en el río Colcaqui para evaluar la calidad de agua del río y poder dar un diagnóstico de su estado de conservación.

1.5. Importancia

El presente trabajo de investigación ofrece un documento que brinda el grado de contaminación del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017. Así mismo el presente estudio brinda un punto de partida para desarrollar y profundizar el método de indicadores biológicos en la determinación de la calidad de agua en Apurímac.

CAPÍTULO II

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco referencial

2.1.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1.1. Tesis Internacionales

- ❖ (Gil Gómez, 2014), “*Determinación de la calidad del agua mediante variables Físico químicas, y la comunidad de Macroinvertebrados como Bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa*”. Tesis para optar el grado de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. El **objetivo** general es: Determinar la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores en la cuenca del Río Garagoa en los puntos de muestreo establecidos por la red de monitoreo (Caracol, Puente Olaya, la Guaya, El Punteadero, Fusavita, Quinchatoque, inicio del Río Garagoa, Las Delicias, Quebrada La Única y Puente Adriana). El **resultado** es: La calidad biológica del agua de los sistemas loticos de la cuenca del Río Garagoa tiende a ser mejor en la época de baja precipitación, donde la estabilidad de ambientes favorecida por el bajo caudal, puede estar viéndose reflejada en una mejor condición ecológica para la comunidad, al mismo tiempo se puede observar

principalmente en el primer muestreo y en el segundo muestreo si no se tiene en cuenta el resultado de la estación E11 que la calidad del agua tiene una tendencia a empeorar y se ve afectada con el transcurso y el avance del río.

- ❖ (Acuña Campos, 2013), *“Determinación de la Calidad del agua en la Subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos”*. Tesis presentada para la obtención del título de Ingeniero Ambiental. El **objetivo** general es: Determinar el estado de la calidad del agua para la supervivencia de los organismos acuáticos en la subcuenca del río Quiscab por medio de la aplicación de los índices bióticos BMWP-CR y EPT. La metodología que empleo es la siguiente: La metodología de investigación lo realizó en base a diversos pasos, los cuales se describen a continuación; Variables de entrada en donde determinaron los índices bióticos y variables independientes y dependientes. Las variables independientes son: Variedad taxonómica, Puntuación de Macroinvertebrados, Número de Macroinvertebrados y Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Las variables dependientes que empleo son: Numero BMWP, Porcentaje EPT y el Grado de contaminación. Los **resultados** son: En el primer punto de muestreo (Novillero), el cual está ubicado en la parte alta de la cuenca, se obtuvieron números BMWP de 70 para época seca y 88 para época lluviosa. Estos valores representan los más altos en la cuenca, sin embargo, según el índice no alcanza valores óptimos de calidad del agua (100), ya que su categoría es de aguas de calidad regular lo que quiere decir que existe contaminación moderada que es perceptible para los organismos dentro del ecosistema acuático.
- ❖ (Carvacho Aránguiz, 2012), *“Estudio de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile”*. Tesis para optar el grado de Master oficial en Agua, Análisis interdisciplinario y Gestión Sostenible. Su **objetivo** es el siguiente:

Proponer y desarrollar un índice multimétrico para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Limari, como una herramienta para mejorar la gestión del recurso hídrico en el país. Los **resultados** obtenidos a partir del desarrollo de una metodología multimétrica sugieren que la utilización de un índice multimétrico diseñado para una determinada área de estudio entrega la mejor evaluación del estado ecológico del sistema fluvial, como resultado ser para la cuenca del Limari. En donde el índice definió aguas desde una *Muy buena* a *Pésima calidad*, siendo capaz de separar muy bien entre localidades de referencia e impactadas.

2.1.1.2. Tesis Nacionales

- ❖ (Andrea Trama, 2014), *“Efecto de plaguicidas utilizados en los cultivos de arroz, sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y la calidad de las aguas en la cuenca baja del río Piura, Perú”*. Tesis presentada para optar el grado de Doctoris Philosophiae. El **objetivo** general es: Evaluar el efecto de los plaguicidas y otros contaminantes utilizados en el cultivo de arroz sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad del agua en la cuenca del río Piura y humedales naturales asociados. La metodología empleada fue: Análisis de datos de los macroinvertebrados (Índices EPT, BMWP/Col), Análisis fisicoquímicos-nutrientes y plaguicidas; también cabe mencionar que el método de muestreo lo realizo mediante los sustratos artificiales. El **resultado** es: Durante el estudio se registraron en total 46 familias de invertebrados con 73 taxa y un total de 7916 individuos tanto para los puntos principales como para las parcelas individuales. En el sistema de riego se registraron en total 32 taxa en total para los tres puntos. En las parcelas individuales se contabilizaron 44 taxa para la parcela VAC, 26 para MVI y 20 para JTT también con un total de 49 taxa sumando la riqueza de las tres parcelas evaluadas. El aumento de concentración de nutriente del punto control al drenaje y al canal en el oxígeno disuelto, aumento de turbidez y conductividad y cambios en el pH y se modificó el establecimiento de diferentes órdenes de macroinvertebrados.

- ❖ (Peralta Argomeda, 2012), “*Diversidad de la Entomofauna acuática y su uso como indicadores biológicos en humedales de villa, Lima, Perú*”. Tesis para la obtención del título profesional de Biólogo con mención en Zoología. El **objetivo** general es: Determinar la composición de la entomofauna acuática en los humedales de Villa y su uso como bioindicadores de calidad ambiental. Los **resultados** son: Durante el estudio se registraron datos físicos de las estaciones de muestreo, para poder describir y valorizarlas de acuerdo a las condiciones ambientales que presentaron. En la segunda época de estudio (agosto) se observaron cambios notables en la profundidad del punto de muestreo de cada estación de muestreo, debido principalmente al aumento del nivel de agua en el humedal. Además, en esta época se observó aumento de la transparencia en comparación con la primera época. En la primera época (febrero), la fluctuación de la temperatura del agua estuvo entre 25.70 °C (E-6) y 32.40 °C (E-5). La concentración de oxígeno disuelto, varió notablemente entre las estaciones de muestreo, registrando los valores más altos en la laguna Principal: 11.58 mg/L (E-3) y 10.87 mg/L (E-5), en contraste se registraron los valores más bajos en la laguna Las Delicias: 1.82 mg/L (E-7) y 2.44 mg/L (E-6). El pH varió desde valores neutros en la laguna Las Delicias: 7.05 (E-7) hasta alcalinos en la laguna Sur: 9.56 (E-10). La conductividad eléctrica tuvo los valores más bajos en la laguna Marvilla: 5330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E-11) y 5350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E-12) y los más altos en la laguna Las Delicias: 16360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E-8) y 13300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E-7). Finalmente, la concentración de amonio varió desde 0.00 en la laguna Principal hasta 0.50 en las demás lagunas. Se identificaron 53 especies de insectos acuáticos en las dos épocas de estudio, agrupadas en 5 órdenes y 27 familias. El orden Diptera presentó la mayor riqueza con 22 especies, agrupadas en 11 familias, de las cuales Chironomidae presentó la mayor riqueza con 5 especies. En segundo lugar, el orden Coleoptera con 14 especies en 4 familias, siendo Dytiscidae e Hydrophilidae las de mayor riqueza con 5 especies cada una. El orden

Hemiptera presentó 9 especies en 8 familias, siendo Veliidae la de mayor riqueza con 2 especies. El orden Odonata presentó 7 especies en 3 familias, siendo Libellulidae la de mayor riqueza con 3 especies. Finalmente, el orden Ephemeroptera presentó la menor riqueza con solo una especie, de la familia Baetidae.

- ❖ (Valcárcel Rojas, 2011), “*Evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Utcubamba (Amazonas-Perú) mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos*”. Tesis para optar el título profesional de biólogo con mención en Hidrología y Pesquería. El **objetivo** General es: Evaluar la degradación de los ambientes acuáticos en la cuenca baja del río Utcubamba mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos. El **resultado** es: Se identificaron diferentes grados de degradación en los ambientes acuáticos de la cuenca baja del río Utcubamba a partir del análisis de estructura comunitaria del macrobentos y las diferentes medidas bioindicadoras de calidad de agua. La estación de muestreo E6 (quebrada Honda) presentó el mejor estado de conservación en el área de estudio (RCE: muy buena; %EPT: 68,6; H': 3,52; BMWP/Col.: Buena; IBF: Buena), mientras que E3 (quebrada Alenguía) fue la menos conservada (RCE: regular; %EPT: 1,77; H': 1,43; BMWP/Col.: Aceptable; IBF: moderada). Los cambios más notables en la composición y estructura comunitaria estuvieron explicados principalmente por la variabilidad temporal, mientras que las diferencias entre estaciones de muestreo estuvieron explicadas por los diferentes niveles de perturbación antrópica en los ambientes evaluados.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Agua

Es el factor abiótico más importante de la tierra y uno de los principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. El agua, debido a su composición química y su estructura dipolar, forma puentes de hidrogeno que son los

responsables de las características tan especiales que tiene y que han hecho posible la vida sobre la Tierra. (Herrera, Severiano, Barreto, & Torres, 1990)

2.2.2. Contaminación del agua

A pesar de la generalizada implantación de sistemas de depuración que disminuyen el impacto de vertidos de tipo puntual procedentes de núcleos urbanos e industriales, este tipo de vertidos sigue suponiendo un claro impacto a los ecosistemas fluviales, puesto que los sistemas de depuración no son capaces de eliminar todas las sustancias tóxicas ni todos los vertidos pasan por un sistema de depuración. Las sustancias tóxicas que llegan al río provocarán un impacto sobre la comunidad de macroinvertebrados y la biota en general. Como ejemplo, cabe destacar las crecientes concentraciones de pesticidas y productos farmacéuticos que se han detectado en los ríos y que pueden afectar gravemente a los animales acuáticos. (Ladrera, 2012)

2.2.3. Calidad del agua

Calidad del agua, se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable. (Diersing, 2009)

2.2.3.1. Evaluación de calidad de agua

La evaluación de calidad de agua está definida como el proceso completo de la evaluación de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, efectos humanos y usos adecuados, particularmente los usos que pueden afectar la salud humana y la salud del sistema acuático. (Prat N. , 1998)

Para medir la calidad del agua se emplean una serie de parámetros o índices, que proporcionan mucha información sobre los usos y evolución de la misma, y permiten cuantificar el grado de alteración de sus características naturales. Se pueden agrupar en:

a) Parámetros físicos

Son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos suspendidos, turbidez, color, sabor, olor, conductividad y resistividad. (OMS, 2006)

b) Parámetros químicos

El agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre las que podemos mencionar a los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materias orgánicas y nutrientes. (OMS, 2006)

c) Parámetros biológicos.

También llamados indicadores biológicos de calidad del agua o de contaminación, cuantifican la cantidad de organismos vivos que se encuentran en las aguas, tanto microscópicos (algas, hongos, bacterias y virus) como de mayor tamaño (larvas de insectos, animales y plantas), cuya presencia o ausencia indica el grado de contaminación. Algunos de estos organismos pueden ser beneficiosos para la regeneración de las aguas, pero también pueden transmitir enfermedades. (Prat N. , 1998)

2.2.4. Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son bichos que se pueden ver a simple vista. Se llaman **macro** porque son grandes, **invertebrados** porque no tienen huesos, y **acuáticos** porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra: algunos de ellos requieren agua

de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. (Carrera & Fierro, 2001)

2.2.5. Macroinvertebrados como bioindicadores

Los posibles efectos de una alteración de las condiciones del medio donde una comunidad habita pueden evidenciarse a diferentes niveles. Si la perturbación es muy grande (por ejemplo una contaminación por vertidos domésticos que agota el oxígeno del agua) los efectos se notan a nivel de la comunidad entera con la única presencia de unas pocas especies tolerantes. Perturbaciones intermedias (por ejemplo un incremento de nutrientes) pueden dar lugar a otros cambios menos drásticos, como la desaparición de unas pocas especies o el incremento de la densidad de otras ya presentes o la aparición de unas terceras, más tolerantes al factor de estrés. Finalmente, algunas perturbaciones (un ligero incremento de las sales por ejemplo), pueden no modificar la estructura de la comunidad pero sí dar lugar a otros cambios no perceptibles a este nivel pero sí a nivel individual. Este es el caso de la presencia de tóxicos en el agua, induce en los organismos respuestas metabólicas para intentar compensar el problema generado por las condiciones del medio. Si las concentraciones son bajas, pueden no producirse cambios en la presencia o abundancia de la especie pero sí cambios en la utilización de ciertas vías metabólicas o en las propiedades del material genético y es posible detectar el estrés generado para esta especie mediante estos cambios. A los indicadores que no producen cambios estructurales se les denomina biomarcadores para diferenciarlos de los bioindicadores que sí detectan estos cambios. Los biomarcadores pueden ser bioquímicos, fisiológicos, histológicos (daños en tejidos) o genéticos (daños en el material hereditario) y pueden ser cambios transitorios o permanentes. (Dominguez & Fernández, 2009).

Evaluaron poblaciones del tricóptero de *Hydropsyche exocellata* en un gradiente de contaminación urbana e industrial en el río Llobregat (España) y encontraron un incremento

de la actividad enzimática antioxidante relacionado con un aumento en la contaminación por metales pesados, concluyendo que la combinación de respuestas químicas y bioquímicas pueden ser usadas para evaluar y diagnosticar la contaminación en ríos altamente perturbados. Esta es un área emergente en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos y aunque algunos han sido usados de forma habitual en estudios de ecotoxicología, todavía son poco utilizados en programas de monitoreo y vigilancia. (Dominguez & Fernández, 2009)



Figura 1
Niveles de organización y uso de indicadores biológicos.
Fuente: (Dominguez & Fernández, 2009)

Mientras que para los niveles de población, comunidad o ecosistema se utilizan los bioindicadores a nivel estructural o funcional, a nivel individual para conocer el efecto de las perturbaciones sobre los organismos es necesario utilizar biomarcadores a nivel suborgánsmico (desde la molécula a los órganos pasando por la célula). (Dominguez & Fernández, 2009)

2.2.5.1. Tipos de hábitad de los macroinvertebrados acuáticos

El hábitad se refiere al lugar en que vive un organismo; el nicho, al papel que desempeña en la comunidad. En otras palabras, el limnólogo debe saber dónde encontrar los

macroinvertebrados acuáticos y conocer sus demás relaciones con los demás organismos. Los hábitats acuáticos son muy variados y a cada uno de ellos corresponde una comunidad determinada, así por ejemplo, unos viven adheridos a la superficie de rocas, pequeñas piedras, troncos sumergidos o restos de vegetación; otros habitan en las orillas, adheridos a la vegetación emergente o sumergida. Unos viven sobre la superficie del agua, en tanto que otros nadan en ella como los peces. Otros se entierran en sustratos arenosos, fangosos o pedregosos. Unos prefieren corrientes rápidas, en tanto otros lo hacen en aguas quietas o en remansos de los ríos. La fauna acuática que se encuentra en remansos es, por tanto, muy diferente a la de las corrientes, como lo es la de fondos lodosos, pedregoso o en zonas ribereñas. (Roldan, 2003)

Por ello es básico que cuando se realicen estudios para evaluar la calidad del agua, estos deban considerar todos los posibles hábitats presentes en el área de muestreo. (Roldan, 2003)

Los ecosistemas lóticos se refieren a los ríos, quebradas y arroyos donde las corrientes rápidas juegan un papel importante en la distribución de los macroinvertebrados. Los organismos aquí presentes, por lo regular tienen adaptaciones corporales como ganchos, ventosas y cuerpos aplanados para resistir la velocidad de la corriente. (Roldan, 2003)

Los ecosistemas lénticos son aquellos de aguas quietas o estancadas como lagos, lagunas, embalses. Los remansos de los ríos y quebradas se comportan en general como hábitats lénticos dependiendo de la geomorfología del cauce. Estos ecosistemas por lo general presentan abundante vegetación ribereña y sumergida, lo que ofrece un variado hábitat para un gran número de organismos, siendo más frecuentes los hemípteros, odonatos y coleópteros que ciertos dípteros, moluscos y cangrejos. (Roldan, 2003)

La zona profunda de los lagos por lo regular ofrece condiciones estresantes por la falta de oxígeno y por la acumulación de gases tóxicos; por eso la fauna que allí se encuentra en la

mayoría de los casos es poco variada, pero los individuos presentes pueden ser abundantes. (Roldan, 2003)

En la zona limnética se refiere a la región de aguas abiertas, alejada de la orilla (muy obvia en los lagos) y que puede observarse en los grandes ríos. Allí, la fauna de macroinvertebrados es prácticamente inexistente o se reduce a unos pocos individuos adaptados para nadar en superficie (véase figura 2). (Roldan, 2003)

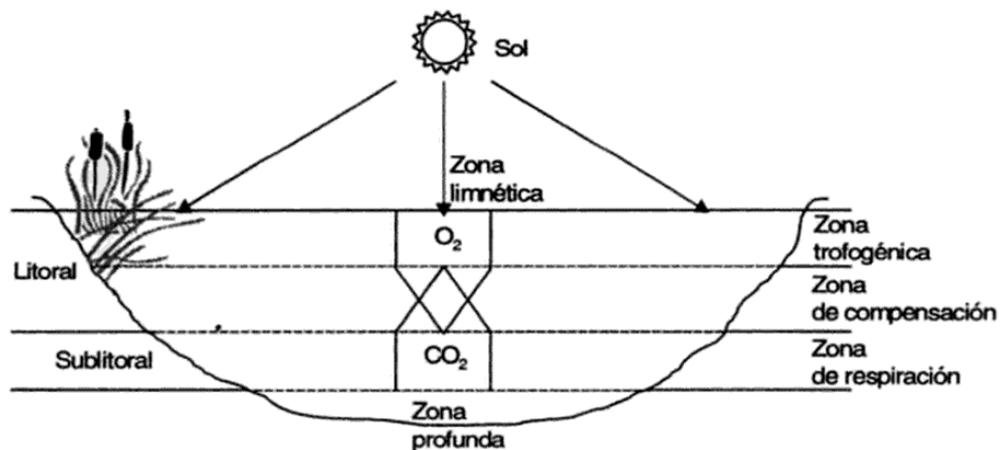


Figura 2
Zonación de un ecosistema acuático léntico.
Fuente: (Roldan, 2003)

2.2.5.2. Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie, en el fondo o nadar libremente; de ahí que reciben diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación. (Roldan, 2003)

a) Neuston

Se refiere a los organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, sus patas y su exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial. Entre los representantes están las familias Gerridae, Hydrometridae y Mesoveliidae (véase figura 3) (Roldan, 2003)

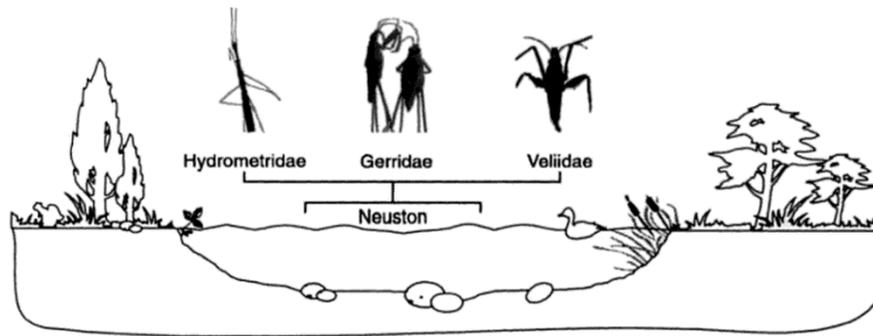


Figura 3
Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.
 Fuente: (Roldan, 2003)

b) Necton

Está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran: Corixidae y Notonectidae del orden Hemiptera; Dytiscidae, Gyrinidae e Hydrophilidae del orden Coleoptera y Baetidae del orden Ephemeroptera (véase figura 4). (Roldan, 2003)

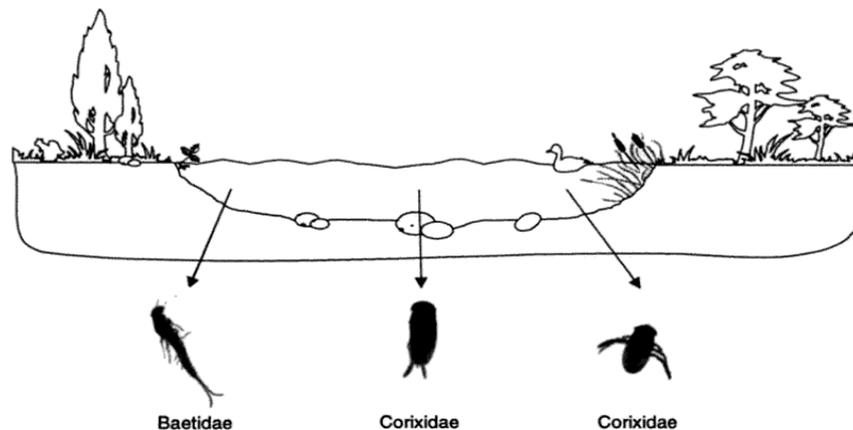


Figura 4
Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático.
 Fuente: (Roldan, 2003)

c) Bentos

Se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de los ríos y lagos, adheridos a las piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales ordenes representantes son: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Diptera. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). Otros, como la familia

Blephariceridae (Diptera), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonata se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente (véase figura 5). (Roldan, 2003)

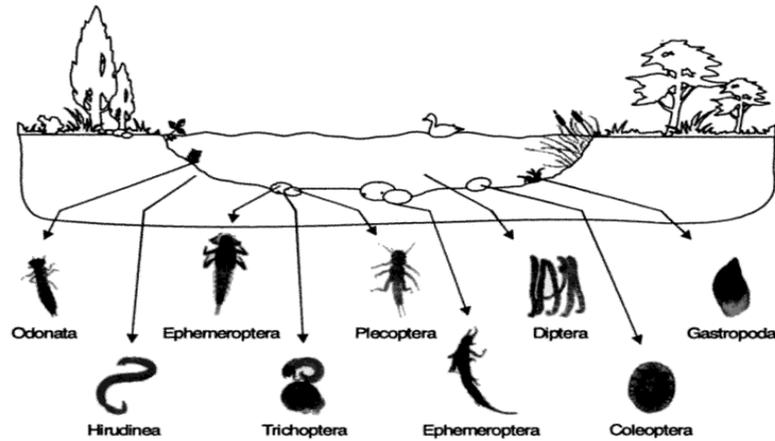


Figura 5

Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático.

Fuente: (Roldan, 2003)

2.2.5.3. Adaptaciones de los macroinvertebrados a la vida en el agua

Puesto que la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos deben tomar el oxígeno disuelto en el agua es fundamental que estos organismos presenten adaptaciones estructurales y fisiológicas que les permitan llevar a cabo este proceso. Por tanto, los problemas de contaminación que disminuyan los niveles de oxígeno en el agua, son letales para la mayoría de los organismos que allí habitan. (Roldan, 2003)

a) Respiración hidropnéustica

Consiste en tomar directamente el oxígeno disuelto en el agua a través de la piel o de agallas filamentosas. Este es el tipo de respiración que realizan la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos. Se ha observado cómo algunos organismos que viven en aguas con déficit de oxígeno, por ejemplo las ninfas de *Euthyplocia* y *Campylocia*, poseen agallas enormemente desarrolladas, como una compensación para una mayor área de exposición y captación del poco oxígeno disponible. Las pupas de *Simulium* cuentan con espiráculos funcionales con prolongaciones torácicas ramificadas llamadas agallas espiraculares que les

sirven para realizar respiración aeropnéustica en caso de que el medio comience a secarse (véase figura 6). (Roldan, 2003)

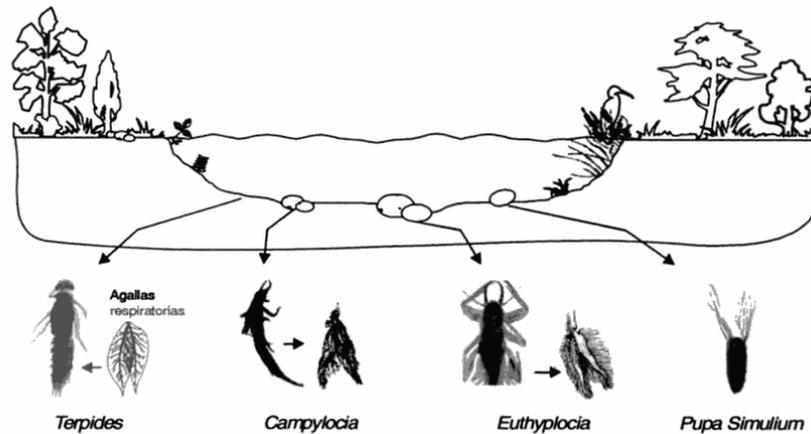


Figura 6

Adaptaciones de los macroinvertebrados a la respiración hidropnéustica.

Fuente: (Roldan, 2003)

b) Respiración aeropnéustica

Es el tipo de respiración que realizan algunos organismos acuáticos, pero que toman el oxígeno directamente del aire, por ejemplo, Culicidae y Syrphidae que tienen unos sifones respiratorios que les permiten estar por periodos prolongados en contacto con la superficie del agua. Organismos como estos no servirán como indicadores de aguas desoxigenadas. Otros organismos como los de la familia Dytiscidae y Elmidae (Coleoptera), nadan hasta la superficie donde toman burbujas de aire que conservan debajo de los élitros y les sirve de reserva de oxígeno durante varias horas. Ciertos colepteros y lepidópteros poseen espiráculos ensanchados que les sirven para almacenar aire y así resistir periodos prolongados debajo del agua (véase figura 7). Ciertos hemípteros y coleópteros tienen sus cuerpos cubiertos por escamas y pelos microscópicos que no se humedecen, lo que les permite mantener secos los espiráculos y así tener siempre una reserva de aire. Esta adaptación consiste de una estructura llamada plastron. Otros organismos como la familia Polymitarcidae perforan tallos esponjosos donde se alojan por periodos prolongados y donde toman el oxígeno del aire allí acumulado. (Roldan, 2003)

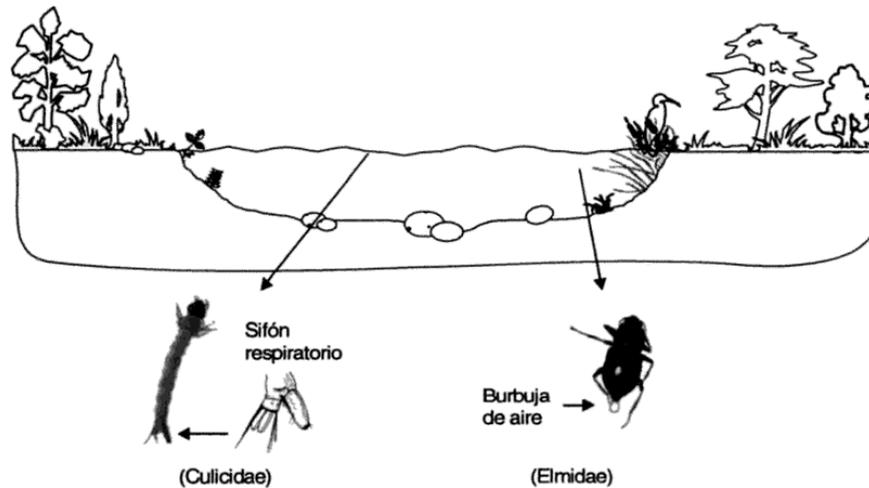


Figura 7

Adaptaciones de los macroinvertebrados a la respiración aeróbica.

Fuente: (Roldan, 2003)

2.2.5.4. Adaptaciones alimenticias de los macroinvertebrados acuáticos

Al igual que los ecosistemas terrestres, los ecosistemas acuáticos funcionan con base al principio de comer y ser comido. Los herbívoros o consumidores de primer orden son aquellos que se alimentan de vegetales; en este caso la fuente de alimentación son las algas y plantas acuáticas. Los carnívoros o consumidores de segundo, tercero o de órdenes superiores, se alimentan de otros animales. La trama alimenticia en el agua es especialmente débil, pues los organismos más sensibles a las perturbaciones antrópicas son los primeros en desaparecer, lo cual causa un desequilibrio en las cadenas alimenticias. Así algunos organismos podrían desaparecer al ser eliminados aquellos que son su fuente inmediata de alimento. (Roldan, 2003)

Los macroinvertebrados se multiplican en grandes cantidades, se pueden encontrar miles en un metro cuadrado. Son parte importante en la alimentación de los peces. Los macroinvertebrados pueden alimentarse de: plantas acuáticas, restos de otras plantas y algas, otros invertebrados y peces pequeños, restos de comida en descomposición y elementos nutritivos del suelo, animales en descomposición, elementos nutritivos del agua y sangre de otros animales. (Carrera & Fierro, 2001)

2.2.5.5.Importancia ecológica de los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados son considerados un eslabón importante en la cadena trófica, especialmente para peces. Un alto número de invertebrados se alimentan de algas y bacterias, las cuales se encuentran en la parte baja de la cadena alimentaria. Algunos deshacen hojas y se las comen mientras otros comen materia orgánica presente en el agua. Debido a la abundancia de los macroinvertebrados bénticos, en la cadena alimentaria acuática, ellos juegan un papel crítico en el flujo natural de energía y nutrientes. Al morir los macroinvertebrados bénticos, se descomponen dejando atrás nutrientes que son aprovechados por plantas acuáticas y otros organismos que pertenecen a la cadena. (Dominguez & Fernández, 2009)

2.2.5.6.Ventajas del uso de macroinvertebrados acuáticos

Según Roldán (2003), las razones por las cuales se consideran los macroinvertebrados como los mejores indicadores de calidad de agua son las siguientes:

- ❖ Son abundantes, de amplia distribución y relativamente fáciles de recolectar
- ❖ Son sedentarios en su mayoría, por tanto, reflejan las condiciones locales
- ❖ Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos, como las bacterias y virus entre otros
- ❖ Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo
- ❖ Proporcionan información para integrar efectos acumulativos
- ❖ Poseen ciclos de vida largos
- ❖ Son apreciables a simple vista
- ❖ Se pueden cultivar en el laboratorio
- ❖ Responden rápidamente a los tensores ambientales
- ❖ Varían poco genéticamente

2.2.5.7. Identificación de los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista, o sea, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud. Por lo tanto de acuerdo a esta definición mostramos los principales grupos de macroinvertebrados acuáticos. (Roldán Pérez, 1988)

Tabla 1
Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos.

Phylum	Clase	Orden
Coelenterata	Hydrozoa	Hidroida
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida
Nemathomorpha		Gordioidea
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida
	Hirudinea	Glossiphoniiformes
		Hirudiniformes
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera
		Ordonata
		Plecoptera
		Neuroptera
		Hemiptera
		Coleoptera
		Trichoptera
		Lepidoptera
		Diptera
		Arachnoidea (Hidracarina)
	Mollusca	Gastropoda
Basomatophora		
Bivalvia (Pelecypoda)		Unionoida Venerioida

Fuente: (Roldán Pérez, 1988)

2.2.5.8. Principales órdenes de macroinvertebrados

a) Ephemeroptera

Reciben este nombre debido a su vida corta o “efímera” que llevan como adultos. Algunos pueden vivir en este estado solo cinco minutos, pero la mayoría viven entre tres y cuatro días; Durante este tiempo alcanzan la madurez sexual y se reproducen. (Roldán Pérez, 1988)

Los Ephemeropteros viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general se consideran indicadores de buena calidad del agua. (Roldán Pérez, 1988)

b) Plecoptera

Las ninfas de los Plecópteros viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. Se ha observado en ciertos casos que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000m de altura. Son, por tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas. (Roldán Pérez, 1988)

c) Trichoptera

Los trichopteros son insectos que se caracterizan por hacer casas o refugios que construyen en un estado larval, los cuales sirven a menudo para su identificación. La mayoría de ellos requieren de uno a dos años para su desarrollo. Los adultos son muy activos en las primeras horas de la noche. (Roldán Pérez, 1988)

La mayoría de ellos viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal; algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. (Roldán Pérez, 1988)

d) Coleoptera

Es uno de los más extensos y complejos, debido a que muchos de ellos son semiacuáticos. Presentan una metamorfosis completa, pero son muy diferentes morfológicamente el adulto y la larva. Su ciclo de vida presenta un periodo que puede variar de meses a años, dependiendo de la especie. (Roldán Pérez, 1988)

La mayoría de Coleoptera acuáticos viven en aguas continentales lólicas y lénticas. En las zonas lólicas los sustratos más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y la vegetación sumergida y emergente. Las zonas más ricas son las

aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias. (Roldán Pérez, 1988)

e) Diptera

Se considera uno de los grupos de insectos más evolucionados. Su habitat es muy variado; se encuentran en ríos, arroyos, quebradas, lagos a todas las profundidades, depósitos de agua en las brácteas de muchas plantas y en orificios de troncos viejos. Existen representantes de aguas muy limpias como también de aguas contaminadas. (Roldán Pérez, 1988)

f) Odonata

Los odonatos, llamados también libélulas o caballitos del diablo, son insectos hemimetábolos, cuyo periodo larval es acuático, empleando desde dos meses a tres años en su desarrollo hasta adultos, de acuerdo con el tipo de especie y el clima. En su estado adulto, viven desde pocos días hasta tres meses. (Roldán Pérez, 1988)

Los Odonatos viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas, por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Viven en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas. (Roldán Pérez, 1988)

2.2.5.9. Métodos de recolección y tratamiento de las muestras

El objetivo fundamental del muestreo consiste en recolectar la mayor diversidad posible de macroinvertebrados. Para ello deben explorarse cuidadosamente cada uno de los hábitats posibles en cada lugar de muestreo. Esto incluye sustrato de fondo (piedras, arena, lodo, restos de vegetación), microfítas acuáticas (flotantes, emergentes y sumergidas), raíces sumergidas de árboles y sustratos artificiales (restos de basuras que puedan estar presentes). Para obtener resultados comparables, el esfuerzo de muestreo debe cubrir un área entre 10 y 20 m² y hacerse durante 20 o 30 min. (Roldan, 2003)

A. Muestreo en aguas poco profundas: la red de pantalla es la ideal para obtener en estos hábitats la mayor diversidad posible. Para las orillas es recomendable la red D-net. (Roldan, 2003)

B. Muestreo en aguas profundas: en la mayoría de los casos el muestreo debe hacerse en las orillas hasta 1m de profundidad, moviendo la red de mano (D-net) en forma de barrido sobre la vegetación y el fondo. También se usa la draga Ekman para fondos lodosos. (Roldan, 2003)

C. Muestreo en aguas de poca corriente o estancado: conviene usar una red de mano de la misma manera que para aguas profundas. El fondo debe barrerse sólo superficialmente. Adicionalmente deben recogerse piedras, ramas, hojas y otros objetos que pueda haber en el lugar. (Roldan, 2003)

D. Métodos de recolección Cualitativos

a) Red D- net: esta red se usa para hacer un “barrido” a lo largo de las orillas o en recodos de las corrientes donde no es posible llegar con la red de pantalla. Tiene la ventaja de que su forma triangular se adapta bien a las superficies irregulares de las orillas. Su uso debe ser intensivo hasta cubrir un área representativa del lugar de muestreo (10 m a lo largo de ambas orillas). El material recolectado se vacía sobre un cedazo, o simplemente sobre una red, para lavar el exceso de lodo o arena, luego se guarda en una bolsa plástica o un recipiente de plástico con alcohol al 70% para ser examinado posteriormente en el laboratorio. (Roldan, 2003)

b) Red de mano o Pantalla: consiste en usar una red de más o menos 1 m² con un ojo de malla de 500 µm aproximadamente; la red está sujeta a dos mangos de madera o aluminio. Una persona se coloca en contra de la corriente y sustenta la red con ambas manos, mientras la otra, colocada en dirección de la corriente, remueve el fondo con los pies o con las manos (se recomienda usar guantes fuertes para evitar heridas). El material removido se acumula

en la red y con él, las larvas que haya en el sustrato. Este procedimiento debe repetirse por lo menos tres veces o hasta que se haya cubierto un área de 6m^2 aproximadamente. Es recomendable examinar en el mismo campo el material acumulado en la red; de no ser posible por razones de tiempo, se procede de la misma manera discreta para la red D-net. (Roldan, 2003)

c) Recolección Manual: consiste en levantar rocas, piedras, ramas sumergidas y troncos en cuya superficie se encuentran numerosos organismos adheridos. Los organismos deben ser tomados con pinzas de aluminio u otro material suave o con la ayuda de pinceles con el fin de no dañar las estructuras externas de los organismos recolectados. El material se guarda directamente en viales o frascos pequeños con alcohol al 70%. Esta práctica debe repetirse muchas veces hasta cubrir un área que se considere representativa (10 a 15 m^2). El muestreo se considera suficiente cuando comienza a aparecer de manera repetitiva los mismos organismos sobre los sustratos. (Roldan, 2003)

E. Métodos de recolección Cuantitativas

a) Red Surber: Se trata de atrapar macroinvertebrados con una red sujeta a un marco metálico, que abierta tiene forma de L, removiendo el fondo del río. Se utiliza en ríos de poca profundidad, con corrientes más o menos torrentosas y fondo de piedras pequeñas, donde el agua no supere los 45 centímetros o el borde superior de una bota de caucho. No es recomendable realizar este muestreo en ríos donde el agua esté tranquila y el fondo sea de arena o lodo. (Roldan, 2003)

b) Draga Ekman: está compuesta por dos estructuras en forma de pala se derraman mediante el envío de un mensajero o plomada. Se utiliza para muestrear fondos blandos (arenosos o fangosos) y en cada oportunidad recolecta una muestra correspondiente a un área de 640 cm^2 . De nuevo, éstas son medidas de fabricante y lo más importante es disponer

de un área de muestreo conocida. Este procedimiento, como los anteriores, debe repetirse mínimo tres veces en cada estación de muestreo. (Roldan, 2003)

c) Uso de sustratos artificiales: El uso de sustratos artificiales para muestras estandarizadas de macroinvertebrados en la evaluación de la calidad del agua usando el BBI (Belgian biotic index). Según estos autores, los sustratos artificiales proveen un método alternativo válido para muestreo, ya que el método de recolección manual con redes puede ser un poco subjetivo, de acuerdo con la experiencia de quienes lo realizan. (Roldan, 2003) Con el fin de estandarizar los sustratos artificiales como una técnica alternativa de muestreo, se hacen las siguientes recomendaciones:

- ❖ Usar redes de plástico o de metal y rellenarlas con pedazos de ladrillos o de teja de 4 a 8 cm o con piedrecillas.
- ❖ Colocar mínimo tres réplicas debe ser aproximadamente de 5000 cm³.
- ❖ Será suficiente una exposición por unas tres semanas.
- ❖ Colocar tanto en periodo de lluvias como de sequía, pero deben evitarse períodos de lluvias fuertes por el peligro de que los sustratos sean arrastrados por la corriente.
- ❖ Ubicar los sustratos cerca de las orillas donde puedan sujetarse fuertemente; deben evitarse zonas de turbulencia. Se recomienda hacer observaciones de rutina sólo para asegurarse de que los sustratos permanecen en el lugar donde fueron colocados.

2.2.6. Medición de la diversidad y abundancia de macroinvertebrados

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, la separación de los componentes alfa, beta y gamma puede ser de gran utilidad,

principalmente para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas. La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje, y la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta. (Moreno, 2001)

2.2.6.1. Medición de la riqueza específica

Los índices de la riqueza específica (S); es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que permita conocer el número total de especies (S) obtenido por un censo de la comunidad. Esto es posible únicamente para ciertas taxas bien conocidos y de manera puntual en tiempo y en espacio. La mayoría de las veces tenemos que recurrir a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la comunidad. A continuación, se describen los índices más comunes para medir la riqueza de especies. (Moreno, 2001)

a) Índice de diversidad de Margalef

El índice de Margalef fue propuesto por el biólogo y ecólogo catalán Ramón Margalef y tiene la siguiente expresión. Donde valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad. (Lopez, 1995)

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Dónde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S = k\sqrt{N}$ donde k es constante. Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando $S-1$, en lugar de S, da $DMg = 0$ cuando hay una sola especie. (Moreno, 2001)

2.2.6.2. Índices de abundancia proporcional

Generalmente se clasifica estos índices de abundancia en índices de equidad, aquellos que toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad. Sin embargo, cualquiera de estos índices enfatiza ya sea el grado de dominancia o la equidad de la comunidad, por lo que para fines prácticos resulta mejor clasificarlos en índices de dominancia e índices de equidad. (Moreno, 2001)

A. Índices de dominancia

Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. (Moreno, 2001)

a) Índice de Simpson

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde: p_i = abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$. (Moreno, 2001)

B. Índices de equidad

Algunos de los índices más reconocidos sobre diversidad se basan principalmente en el concepto de equidad, por lo que se describen en esta sección. (Moreno, 2001)

a) Índice de Shannon-Wiener

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. (Moreno, 2001)

b) Esquema de clasificación de las aguas contaminadas de acuerdo a Shannon – Wiener

La mayoría de las medidas de diversidad están calculadas en función de la riqueza de especies y/o la distribución de abundancia de las mismas, sin tomar en cuenta el tipo de organismos presentes y la capacidad de los mismos de adaptarse a los cambios del medio ambiente. (Segnini, 2003)

Tabla 2

Esquema de Clasificación de las aguas contaminadas de Wilhm y Dorris

Esquema de Wilhm y Dorris (1968)	
<u>H'</u>	<u>Condición</u>
> 3	Agua limpia
1 - 3	Contaminación moderada
< 1	Contaminación severa

Fuente: (Wilhm & Dorris, 1968)

Tabla 3

Esquema de Clasificación de las aguas contaminadas de Staub et al.

Esquema de Staub et al. (1970)	
H'	Condición
3,0 – 4,5	Contaminación débil
2,0 – 3,0	Contaminación ligera
1,0 – 2,0	Contaminación moderada
0,0 – 1,0	Contaminación severa

Fuente: (Staub, Appling, Hofstetter, & Hass, 1970)

2.2.7. Índices bióticos para el análisis de la calidad del agua

2.2.7.1. Índice de monitoreo biológico adaptado para Colombia (BMWP-Col)

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se requiere invertir. El método sólo requiere llegar hasta el nivel de la familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Tabla 4). Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10, en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. (Roldan, 2003)

La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxón), esto es, el puntaje total BMWP dividido entre el número de las taxas, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10, un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia. (Roldan, 2003)

En Colombia se realizaron números estudios sobre macroinvertebrados desde el año 1973, siendo el primero en la lista que uso este método Roldan. En donde adaptaban el índice BMWP para cada cuenca diferente. Esto llevo a que otros estudiosos del país adaptaran el índice en diferentes ríos o lagos del país. Hasta que finalmente que con base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferente grupos de macroinvertebrados hasta el nivel de familia, se propone utilizar el método BMWP/Col. (Roldan, 2003)

Tabla 4

Puntaje de macroinvertebrado acuáticos para el índice BMWP/Col.

Familias	Puntaje
Anamalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordidae, Gomphidae, Hydrodidae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeraeidae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limmichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylimidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrphilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Fuente: (Roldan, 2003)

En la tabla 4 indica la puntuación que se le asigna a cada familia de macroinvertebrado; en donde se interpreta de la siguiente manera:

- ❖ Los macroinvertebrados con puntuaciones de 10 son macroinvertebrados que viven en aguas muy limpias a limpias.
- ❖ Los de puntuaciones 9, 8, 7 se considera aguas ligeramente contaminadas.
- ❖ Los invertebrados acuáticos que tengas puntuaciones de 6 y 5 significa que viven en aguas moderadamente contaminadas.
- ❖ Los macroinvertebrados que su puntuación es 4, 3 y 2 viven en aguas muy contaminadas.
- ❖ Y por último los macroinvertebrados de puntuación 1 son los que viven en aguas fuertemente contaminadas.

Tabla 5
Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col.

CLASE	CALIDAD	BMWP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	101-120 > 150	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente Contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy Contaminadas	
V	Muy Critica	<15	Aguas fuertemente Contaminadas	

Fuente: (Roldan, 2003)

La tabla 5 muestra las cinco clases de calidad de agua resultantes al sumar la puntuación obtenida por las familias encontradas en un ecosistema determinado. El total de los puntos se designan como valores BMWP/Col. (Roldan, 2003)

2.2.8. Evaluación de la calidad ecológica de los ríos

2.2.8.1. Protocolo Evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos

Es una publicación elaborada por el Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad San Francisco de Quito y el Grupo de Investigación F.E.M. (Freshwater Ecology and Management) de la Universidad de Barcelona, como parte del proyecto Funcionalidad y

Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos FUCURA financiado por la AECID (Agencia Española para la Cooperación Internacional y Desarrollo, Gobierno de España), y con el auspicio del Fondo para la Protección del Agua-FONAG y el apoyo de USAID. (Acosta, Ríos, Rievadevall, & Prat, 2008)

Se presenta un protocolo rápido de evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA), situados sobre los 2000 m.s.n.m, desde los Andes del Norte (Venezuela) hasta el Altiplano de los Andes Centrales (Bolivia). Este protocolo ha sido aplicado en 45 estaciones de muestreo en la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador y en 42 estaciones de muestreo en la cuenca del río Cañete en Perú. Previamente, para probar si las estaciones de muestreo pueden o no ser estaciones de referencia construimos un método que valora 24 atributos de cuenca, hidrología, tramo y lecho y que fluctúa de 24 a 120 puntos; valores superiores a 100 fueron considerados como sitios potencialmente de referencia. Además del estudio de los macroinvertebrados bentónicos, se evaluó el hábitat fluvial y la comunidad vegetal de ribera a través de la aplicación de los índices ABI (Ríos et al., sometido), IHF y QBR-And respectivamente; así como la conveniencia de la asignación inicial de las estaciones de referencia. Estos índices han sido adecuadamente adaptados a las condiciones y características propias de los ríos altoandinos. Los resultados obtenidos fueron comparados y discutidos entre ambas cuencas. Mediante la aplicación del protocolo CERA se han reconocido los respectivos gradientes de perturbación y la variabilidad natural de las estaciones de referencia en ambos países. (Acosta, Ríos, Rievadevall, & Prat, 2008)

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

La calidad del hábitat será evaluada a partir del índice IHF, el cual básicamente ha sido aplicada sin mayores cambios para la zona de estudio, debido a que la mayoría de las características físicas del hábitat fluvial evaluadas en sus seis apartados son factibles de ser encontradas y valoradas en los ríos alto andinos (Anexo 03). Sin embargo, hay que hacer

algunas aclaraciones con respecto a dos de sus apartados. En el apartado 5: “Porcentaje de sombra en el cauce”, es importante señalar que generalmente sobre los 4000 metros, mucha de la vegetación de ribera en los ríos alto andinos está representada únicamente por pajonal de gramíneas o matorrales de bajo porte, por lo que es común que estas áreas estén totalmente expuestas a la radiación solar. Esta misma característica determina también la valoración en el apartado 6, correspondiente a los “Elementos de heterogeneidad” ya que algunos de estos elementos como presencia de hojarasca, troncos, ramas y raíces expuestas solo se presentan a altitudes por debajo de los 4000 metros donde es más frecuente encontrar una comunidad vegetal de ribera más compleja. Por lo tanto, estas limitaciones impuestas por la comunidad de ribera deben ser valoradas en la discusión de resultados. En general se ha establecido que los valores del IHF por debajo de 40 indican serias limitaciones de calidad de hábitat para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, siendo el óptimo superior a 75. (Acosta, Ríos, Rievadevall, & Prat, 2008)

Tabla 6
Rangos del Hábitat Fluvial (IHF)

Nivel de Calidad	IHF	Color Representativo
<i>Muy alta diversidad de hábitats</i>	> 90	
<i>Alta diversidad de hábitats</i>	71-90	
<i>Diversidad de hábitats media</i>	50 - 70	
<i>Baja diversidad de hábitats</i>	31 - 49	
<i>Muy Baja Diversidad de hábitats</i>	< 30	

Fuente: (Acosta, Ríos, Rievadevall, & Prat, 2008)

2.2.8.3. Índice de la calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And)

El índice QBR ha sido utilizado eficazmente para evaluar la calidad del bosque de ribera en las cuencas mediterráneas. La evaluación de la vegetación de ribera andina, se realizará mediante una observación de como máximo 100 metros lineales del río (aunque puede ser menor en ríos pequeños o en el caso de cambios bruscos en las características del río como por ejemplo un salto de agua). En dicho transepto se aplicará una adaptación del índice de calidad de vegetación de ribera, QBR al que llamaremos QBR-And que en su forma

más completa incluye cuatro apartados: Grado de cubierta de la ribera, Estructura de la cubierta, Calidad de la cubierta y Grado de naturalidad del canal fluvial. En términos generales, considerando las principales formaciones vegetales andinas y sus tipos de riberas podemos definir 3 tipos:

Tipo 1: Ribera de tipo rocoso, que no permite el desarrollo de una comunidad vegetal.

Tipo 2: Ribera típica de paramos y punas, conformada por pajonal de gramíneas, en algunos casos con matorrales bajos, almohadillas y turberas de altura (bofedales).

Tipo 3: Ribera conformada por una comunidad arbórea y/o arbustiva muy diversa. Este tipo de ribera es la más frecuente entre los 2000 y 4000 m.s.n.m. y en algunos de los bosques relictos sobre los 4000 m. s. n. m. en los páramos y punas. (Acosta, Ríos, Rievadevall, & Prat, 2008)

Tabla 7

Rangos de Calidad de conservación de ribera para el QBR-And.

Nivel de Calidad	QBR-And	Color Representativo
<i>Vegetación de ribera sin alteraciones. Calidad muy buena. Estado natural</i>	≥ 96	
<i>Vegetación ligeramente perturbado. Calidad Buena</i>	76 - 95	
<i>Inicio de alteración Importante. Calidad intermedia</i>	51 - 75	
<i>Alteración fuerte. Mala Calidad</i>	36 - 50	
<i>Degradación extrema. Calidad pésima</i>	≤ 25	

Fuente: (Acosta, Ríos, Rievadevall, & Prat, 2008)

CAPÍTULO III

III. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, porque su finalidad es analizar las tasas de macroinvertebrados presentes y su abundancia en el río Colcaqui con lo cual se podrá evaluar la calidad del agua y determinar su estado de conservación, mediante índices bióticos, ecológicos y de diversidad. (Hernández Sampieri, Fernández Collacto, & Baptista Lucio, 2010)

3.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es Descriptiva, porque se busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de un fenómeno y se describirá sus tendencias del grupo estudiado. (Hernández Sampieri, Fernández Collacto, & Baptista Lucio, 2010)

3.3. Diseño de la investigación

Es un estudio no experimental, del tipo transeccional o transversal. En la cual se describen variables en un momento determinado. No se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza.

En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. (Hernández Sampieri, Fernández Collacto, & Baptista Lucio, 2010)

3.4.Variable

3.4.1. Variable Univariable

❖ Calidad del agua

La calidad del agua es una medida crítica de las propiedades químicas y biológicas de los sistemas acuáticos que dependen del mantenimiento de una calidad del agua específica para poder sostener procesos bioquímicos necesarios para la vida de plantas y animales. Estos ecosistemas se ven influenciados por las entradas de metales, nutrientes, toxinas, erosión de la tierra, cenizas de fuegos, aguas residuales y biomasa. Los parámetros principales de la calidad del agua reflejan la función física y biológica del medio ambiente con el que el agua tiene interacción. (Diersing, 2009)

3.5.Cobertura de estudio

3.5.1. Universo

El universo está conformado por todos los macroinvertebrados presentes en el río Colcaqui, que pertenece a la microcuenca Mariño de la subcuenca Pachacaca de la cuenca Alto Apurímac y de la región hidrográfica Amazonas.

3.5.2. Población

La población en estudio lo conforman los macroinvertebrados acuáticos presentes en la época de mayor precipitación (húmeda) y menor precipitación (seca), durante el año 2017; la misma que se considera como una población infinita pues no se puede cuantificar.

3.5.3. Muestra

El método de la muestra es no probabilística, del tipo de muestra intencional, por lo que se colecto a los macroinvertebrados en nueve puntos de muestreo ubicados en las tres zonas del río Colcaqui (alta, media y baja) donde se obtendrán muestras representativas, de forma directa.

3.6. Técnicas e instrumentos

Las principales técnicas que se utilizaran en la investigación son:

3.6.1. Técnicas de la investigación

- a) **Observación:** Se realizará una observación con la cual se obtendrán datos de forma visual los cuales son esenciales en la realización de la presente investigación.
- b) **Análisis:** Se realizara un análisis taxonómico a los macroinvertebrados presentes en el agua del río Colcaqui
- c) **Revisión Documental:** Se revisarán libros, estudios, publicaciones oficiales, documentales que intervienen en el estudio realizado, los cuales proporcionarían mucha información y datos interesantes.

3.6.2. Instrumentos de la investigación

Se realizará la recolección de datos por medio de:

- ❖ Formatos de índices ecológicos.
- ❖ Índice biótico y de diversidad.
- ❖ Guías de identificación de macroinvertebrados acuáticos.

3.6.3. Fuentes

- ❖ Primarias (Directas): La cantidad de los macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Colcaqui y su puntuación de acuerdo al índice BMWP/Col es la información principal para el desarrollo de la investigación.
- ❖ Secundarias: Libros, artículos científicos, compilaciones, resúmenes.

- ❖ Terciarias: Tesis de investigación, publicaciones, boletines.

3.7. Procesamiento estadístico de la información

3.7.1. Estadísticos

Para el procesamiento estadístico de la información se utilizara el índice alfa que ayudara a comprender los cambios de la biodiversidad con relación a su hábitat, para poder medir y monitorear los efectos de las actividades humanas. También se usara los índices ecológicos, bióticos.

3.7.2. Representación

Los datos estadísticos tomados del índice alfa se representaran mediante gráficos estadísticos. Así mismo también se representaran los índices bióticos. Los índices ecológicos se representaran mediante tablas.

3.8. Método

3.8.1. Área de estudio

3.8.1.1. Ubicación geográfica del río Colcaqui

El río Colcaqui está ubicado en el Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Región de Apurímac; al norte del Distrito de Abancay a una altitud de 3700 m.s.n.m. en la parte de la cuenca alta y a 2400 m.s.n.m. en la parte baja de la cuenca. Esta incluye parcialmente a los anexos de: Pumararra, Kerapata, San Antonio, Colcaqui y los distritos de Tamburco y Abancay (sector Condebamba y Mariño).

Anteriormente al río se le llamaba Uchuy Mayo por los antiguos pobladores del sector de Condebamba, nace en la lagunilla de Yanacocha y de los manantiales de Ccocha, hasta la confluencia del riachuelo Chillihua, desde donde toma el nombre de Uchuccara, hasta el riachuelo de San Gabriel Huayco; desde este lugar se denomina río Colcaqui hasta su desembocadura en el río Mariño.

3.8.1.2. Ubicación hidrográfica del río Colcaqui

- ❖ **Cuenca Tributaria** : Colcaqui
- ❖ **Microcuenca** : Mariño
- ❖ **Subcuenca** : Pachachaca
- ❖ **Cuenca** : Alto Apurímac
- ❖ **Región Hidrográfica** : Amazonas

3.8.2. Fase de campo

3.8.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo

El presente estudio se llevó a cabo en el río Colcaqui en las tres zonas de la cuenca (alta, media y baja), donde se establecieron nueve puntos de muestreo, que empiezan desde cero al ocho. Se distribuyeron los puntos considerando las actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo de la cuenca, tomando en cuenta los sitios prístinos y de diferentes grados de degradación. Para la selección de los puntos se realizó un reconocimiento del lugar y una evaluación visual del río en base al protocolo de condiciones de referencia en ríos andinos (Anexo 03), con el cual se pudo determinar los puntos de monitoreo y realizar un estudio detallado de la vegetación presente en la cuenca, identificando las alteraciones que se han dado en el cauce. Cada punto de muestreo fue georreferenciado.

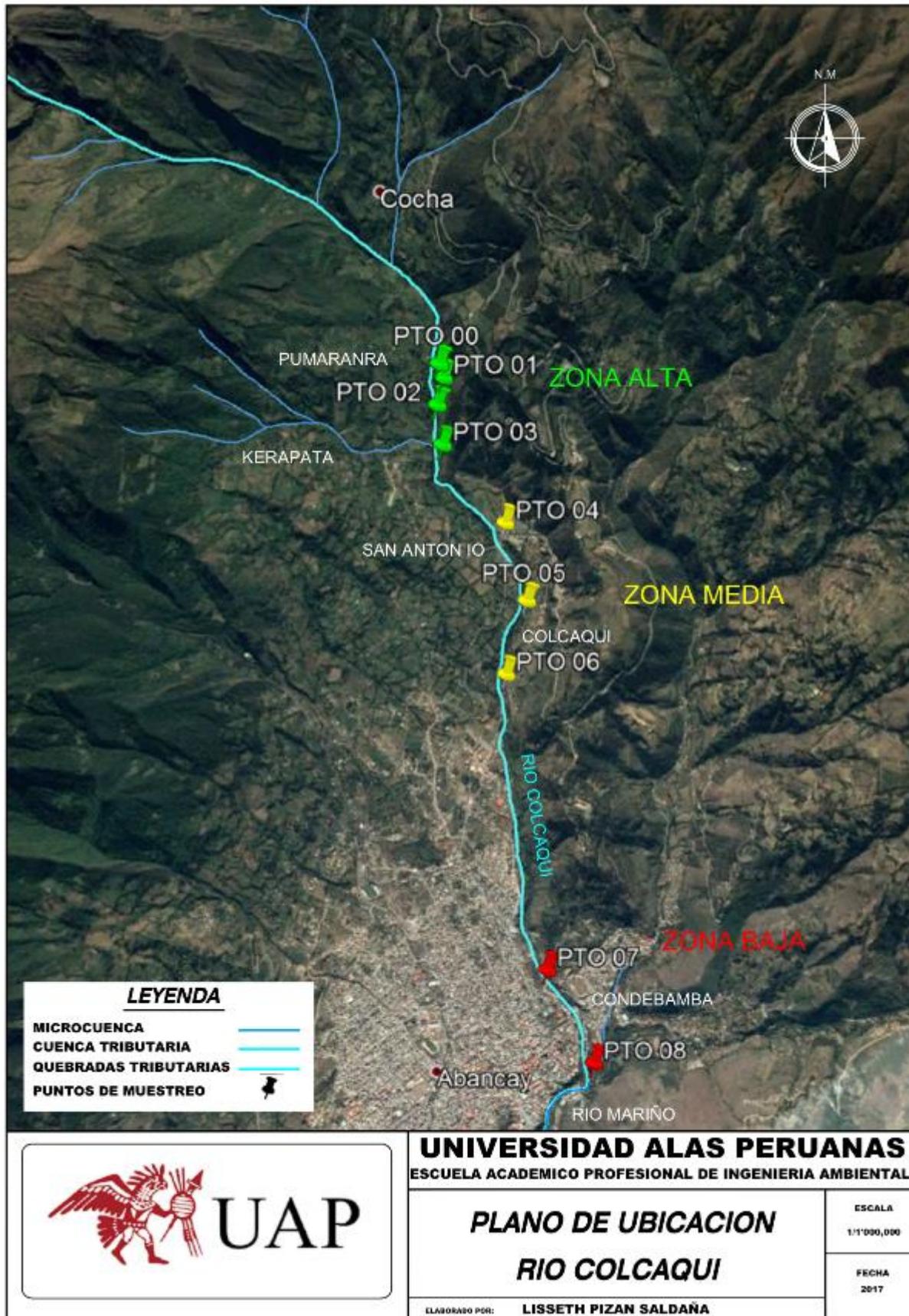


Figura 8
 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la cuenca del río Colcaqui.
 Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se muestra los puntos georreferenciados, la altitud y la zona donde se encuentran (alta, media y baja), para un mejor entendimiento de la ubicación se realizó un mapa del río Colcaqui.

Tabla 8
Ubicación y descripción de los puntos evaluados.

Zona de Evaluación	Punto de Evaluación	Lugar Referencial	Este	Norte	Altitud	Longitud de la cuenca
Zona Alta	PTO: 0	Pumaranra	732132	8496037	2930	14km
	PTO: 1	Pumaranra	732095	8495941	2913	
	PTO: 2	Kerapata	731935	8495807	2886	
	PTO: 3	Kerapata	731790	8495549	2824	
Zona Media	PTO: 4	San Antonio	731817	8494821	2731	
	PTO: 5	Colcaqui	731599	8494260	2706	
	PTO: 6	Colcaqui	731138	8493904	2422	
Zona Baja	PTO: 7	Condebamba	730041	8491904	2422	
	PTO: 8	Mariño	729897	8491113	2354	

Fuente: *Elaboración Propia*

3.8.2.2. *Periodo de muestreo*

El periodo de muestreo se dividió en dos etapas determinadas por la climatología e hidrología de la región. La primera, correspondió a la época lluviosa (Enero – Abril del 2017) abarcando seis días de trabajo en campo; mientras que la segunda correspondió a la época seca (Mayo – Junio del 2017) donde se abarcó seis días de trabajo en campo. En ambas épocas se establecieron los mismos puntos de muestreo.

3.8.2.3. *Colecta de macroinvertebrados acuáticos y análisis en el laboratorio*

La recolección de los macroinvertebrados se realizó en las épocas de mayor y menor precipitación; donde se empleó dos métodos: el sustrato artificial que consistió en colocar bolsas de malla plástica (0.30 x 0.30 m) con una piedra dentro e introducirlas en el fondo del río sujetas a un árbol o estaca y dejarlas por un periodo de cuatro semanas. La recolección Manual consistió en levantar rocas, piedras, ramas y troncos sumergidos. El tiempo de recolección que tomo en cada método fue; 30 minutos en el método manual en cada punto establecido y en el sustrato artificial tomo 35 minutos recolectar las muestras debido a que se tenía que lavar por completo cada sustrato para no perder ningún espécimen. Las muestras

fueron colocadas en crioviales de 2 ml rotulados y separados de acuerdo al método empleado con alcohol al 90% para su conservación y traslado al laboratorio. Para el análisis se tomó como base el índice de monitoreo biológico adaptado para Colombia (BMWP/Col). En donde se buscó identificar hasta el menor nivel taxonómico posible de los macroinvertebrados.

El análisis de los organismos e identificación hasta el menor nivel taxonómico posible, se realizaron en el laboratorio Referencial de Salud Pública de la Dirección de Salud Apurímac (LRSP – DIRESA) del Gobierno Regional de Apurímac, en el área de parasitología con ayuda de un estereoscopio y usando la guía de estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. (Roldán Pérez, 1988)

3.8.2.4. Caracterización ecológica

Se caracterizó el ambiente en cada punto de muestreo y en la época de mayor y menor precipitación, obteniendo datos hidrológicos tales como velocidad de corriente, caudal, tipo de agua, profundidad y ancho del río. Para las condiciones ecológicas se aplicó el protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Andinos) donde se evaluó: Índice de Hábitat Fluvial (IHF) e Índice Calidad de la ribera para comunidades arbóreas QBR-And.

3.8.2.5. Datos hidrológicos

Un río saludable contiene una sucesión de pozos, rápidos, corrientes y un tipo de agua que ayudan al desarrollo de la vida acuática, si no encontramos estos elementos en un cuerpo de agua es muy probable que algo este afectando al río. Por ello es necesario la caracterización física por punto de muestreo, que ayudará a determinar cuan saludable está el río Colcaqui.

Tabla 9
Caracterización física por puntos de muestreo en la época de mayor precipitación.

EPOCA DE MAYOR PRECIPITACION	PUNTOS DE MUESTREO								
	ZONA ALTA			ZONA MEDIA			ZONA BAJA		
	PTO:0	PTO:1	PTO:2	PTO:3	PTO:4	PTO:5	PTO:6	PTO:7	PTO:8
ANCHO (m)	3.15	2.12	3.76	2.69	3.32	3.32	3.60	3.68	3.68
PROFUNDIDAD (m)	0.93	0.74	0.56	0.71	0.68	0.67	0.57	0.50	0.55
VELOCIDAD(m/s)	0.80	1.67	1.14	1.67	0.95	1.11	1.60	2.00	2.00
CAUDAL (m ³ /s)	2.24	2.61	2.41	3.15	2.12	2.49	3.30	3.68	4.02
COLOR DE AGUA	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente con tono ligeramente verdoso	Turbio chocolatada	Turbio chocolatada	Turbio chocolatada

Fuente: Elaboración Propia

En la época de mayor precipitación se determinó que hay aumento del volumen de agua por lo que el río es más ancho, profundo y tiene mayor velocidad. También se evidencia que el color del agua se mantiene transparente hasta el punto cuatro, a partir del punto cinco el color del agua empieza a cambiar debido al arrastre de materia orgánica e inestabilidad de la zona ribereña.

Tabla 10
Caracterización física por puntos de muestreo en la época de menor precipitación.

EPOCA DE MENOR PRECIPITACION	PUNTOS DE MUESTREO								
	ZONA ALTA			ZONA MEDIA			ZONA BAJA		
	PTO:0	PTO:1	PTO:2	PTO:3	PTO:4	PTO:5	PTO:6	PTO:7	PTO:8
ANCHO (m)	2.63	1.77	3.13	2.33	2.77	2.77	3.00	3.07	3.07
PROFUNDIDAD (m)	0.63	0.40	0.26	0.50	0.38	0.37	0.27	0.30	0.35
VELOCIDAD(m/s)	0.60	1.25	0.86	1.25	0.71	0.83	1.20	1.50	1.50
CAUDAL (m ³ /s)	0.84	0.80	0.63	1.45	0.66	0.78	0.88	1.24	1.43
TIPO DE AGUA	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente con tono ligeramente verdoso	Transparente con tono ligeramente verdoso

Fuente: Elaboración Propia

En la época de menor precipitación el volumen del agua disminuye reduciendo el ancho del río, profundidad y velocidad. El color del agua se mantiene transparente hasta el

punto seis luego cambia por un color ligeramente verdoso debido a la abundancia de materia orgánica presente en las zona baja del río.

3.8.3. Índice de diversidad y abundancia

Para la determinación de la diversidad, dominancia y abundancia, se utilizó el índice de diversidad alfa y se emplearon: el Índice de Margalef, Shannon y Simpson. Se realizó el conteo directo de organismos por cada taxa identificada, con lo cual se logró establecer el índice de diversidad alfa.

3.8.3.1. Composición de macroinvertebrados presentes en el río Colcaqui.

Para la determinación de la composición de los macroinvertebrados acuáticos se hizo una colecta por puntos de muestreo y un conteo por zona de estudio de la cuenca, con lo cual se determinó que zona posee más abundancia de macroinvertebrados y que familias están presentes en ella.

3.8.3.2. Índice de Margalef

El índice de Margalef indica la riqueza presente de macroinvertebrados encontrados en el río Colcaqui, donde si el resultado obtenido es menor a 2 hay una menor riqueza de estos especímenes y si el resultado es mayor a 5 tenemos una alta riqueza de macroinvertebrados. Y para el estudio se empleó la fórmula que se detalló en el marco teórico y se utilizó la composición de macroinvertebrados identificados en el laboratorio. Para una mejor precisión de los resultados, los datos se trabajaron en la hoja de cálculo Excel.

3.8.3.3. Índice Simpson

El índice de Simpson muestra la abundancia proporcional de las especies, donde si los valores se aproximan a cero diremos que hay una menor abundancia de los especímenes estudiados y si los valores se aproximan a uno o dan como resultado uno entonces hablamos de una alta abundancia de los especímenes estudiados, que en este caso son los macroinvertebrados acuáticos; para lo cual se tomó como datos de estudio a la composición

que se realizó en el laboratorio, y la formula que se detalla en el marco teórico, así mismo se empleó la hoja de cálculo de Excel para determinar la abundancia de macroinvertebrados presentes por zona de estudio y época en el río Colcaqui.

3.8.3.4. Índice Shannon-Wiener

El índice de Shannon toma en cuenta la abundancia, riqueza y la equitabilidad; y los valores que se le asigna al índice están entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 altos. Para el estudio emplearemos únicamente la equitabilidad utilizando para el cálculo los datos de la composición obtenidos en el laboratorio, con lo cual determinaremos la equidad de los macroinvertebrados en el río Colcaqui por zona y época.

3.8.4. Índice biótico

El índice biótico empleado para el estudio es el BMWP/Col.

3.8.4.1. Índice BMWP/Col

El Biological Monitoring Working Party (BMWP), es un método que mide la calidad de agua y consiste en identificar la taxonomía de los macroinvertebrados hasta el nivel familiar; el puntaje que se le asigna a cada familia va de 1 a 10 donde las familias que presentan puntajes 10 son considerados indicadores de aguas limpias, 9 - 7 aguas ligeramente contaminadas, 6 - 5 aguas moderadamente contaminadas, 4 - 2 aguas muy contaminadas y 1 aguas fuertemente contaminadas. Una vez asignado el puntaje a cada familia identificada se procede con la sumatoria de todas las puntuaciones y se obtiene el puntaje total del BMWP, y se compara con el cuadro de clases de calidad, el mismo que se detalla en el marco teórico. El análisis se realizó por zona y época estudiada y se trabajaron con la composición de macroinvertebrados obtenida del laboratorio.

3.8.5. Índice ecológico

Para el análisis ecológico se empleó el índice de hábitat fluvial (IHF) y el índice QBR-And, que se encuentran dentro del protocolo CERA. Este análisis contribuirá a

determinar la calidad del agua del río Colcaqui utilizando formatos de puntuación que han sido adaptados a los ecosistemas de los ríos andinos peruanos (Anexo 03).

3.8.5.1. Índice de hábitat fluvial

El índice de hábitat fluvial cuenta con un formato de 7 bloques en donde se evalúan la inclusión de rápidos, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, régimen de velocidad/profundidad, porcentaje de sombra en el cauce, elementos heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática. Cada bloque cuenta con una puntuación por categoría, que se suma para obtener la puntuación por bloque y el resultado de cada bloque se suma para obtener la puntuación final del índice IHF; que es comparado con la tabla de rangos del hábitat fluvial (IHF) que se detalla en el marco teórico.

3.8.5.2. Índice de QBR-And

El índice de QBR-And, ayuda a verificar la calidad de la vegetación de la ribera, utilizando un formato (Anexo 03) que consta de 4 apartados con puntuaciones por categoría, donde la puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos. Al final se suma la puntuación de cada bloque o apartado y se obtiene el índice QBR-And, y se compara con el cuadro de rangos de calidad de conservación de rivera para QBR-And; el mismo que se detalla en el marco teórico.

CAPITULO IV

IV. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.Resultados

Los resultados se obtuvieron de acuerdo a la metodología anteriormente presentada y en el orden de los objetivos propuestos.

4.1.1. Índice de diversidad y abundancia

4.1.1.1. *Composición de macroinvertebrados presentes en el río Colcaqui*

La composición de macroinvertebrados mostro que en la época de menor precipitación existe mayor abundancia con un total de 2021 especímenes, mientras que la época de mayor precipitación se evidencia 383 especímenes. Con lo cual se identificaron un total de 26 familias y 11 órdenes de macroinvertebrados, tal como se detallan en el anexo 2.

4.1.1.2. Índice de Margalef

A. Época Húmeda

En la época húmeda se encontró en la zona alta una muy buena riqueza de macroinvertebrados de categoría 10 (Perlidae) con un valor de 25.73; superando la puntuación mayor que estima el índice Margalef. En la zona media se encontró un valor de 41.36 que corresponde a los macroinvertebrados de categoría 7 (Baetidae). Por lo tanto en la

zona baja la puntuación máxima es de 7.28 que pertenece a los macroinvertebrados de categoría 10 (Perlidae). Así mismo cabe mencionar que la zona baja también muestra un valor de 5.92 de macroinvertebrados de categoría 7 (Hydropsychidae).

Estos resultados nos indican que en el río hay una alta riqueza de macroinvertebrados que viven en aguas muy limpias. Así mismo exterioriza que la riqueza de estos macroinvertebrados está disminuyendo en la zona baja del río Colcaqui y se está desarrollando una alta riqueza de los macroinvertebrados de categoría 7.

Tabla 11

Abundancia y riqueza específica de macroinvertebrados en la época húmeda.

Familia	Abundancia			Riqueza Específica (Índice de Margalef)		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Leptophlebiidae	77	7		29.63	2.89	
Perlidae	67		17	25.73		7.28
Baetidae	31	87	8	11.70	41.36	3.19
Hirudinea	6			1.95		
Hellicopsychidae	4			1.17		
Leptoceridae	4			1.17		
Piscicolidae	3			0.78		
Psephenidae	3			0.78		
Gammaridae	2	1		0.39	0.00	
Simuliidae	2	4		0.39	1.44	
Tabanidae	2			0.39		
Hydrobiosidae	1			0.00		
Muscidae	1			0.00		
Chironomidae		10			4.33	
Gastropoda		1			0.00	
Ptilodactylidae		3	10		0.96	4.10
Veliidae		1			0.00	
Hydropsychidae			14			5.92
Glossiphoniidae			8			3.19
Oligochaeta			5			1.82
Tipulidae			2			0.46
Elmidae			1			0.00
Planariidae			1			0.00

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 11 muestra el total de familias encontradas en todo el curso del río Colcaqui en la época húmeda o de mayor precipitación (zona alta, zona media y zona baja) y la

abundancia de cada una de ellas. Así mismo también muestra la riqueza específica de cada familia de macroinvertebrados presentes, obtenida por el cálculo del índice de Margalef.

En la figura 9 se puede visualizar de forma dinámica la presencia o ausencia de las familias de macroinvertebrados estudiados y la riqueza específica de cada una de ellas.

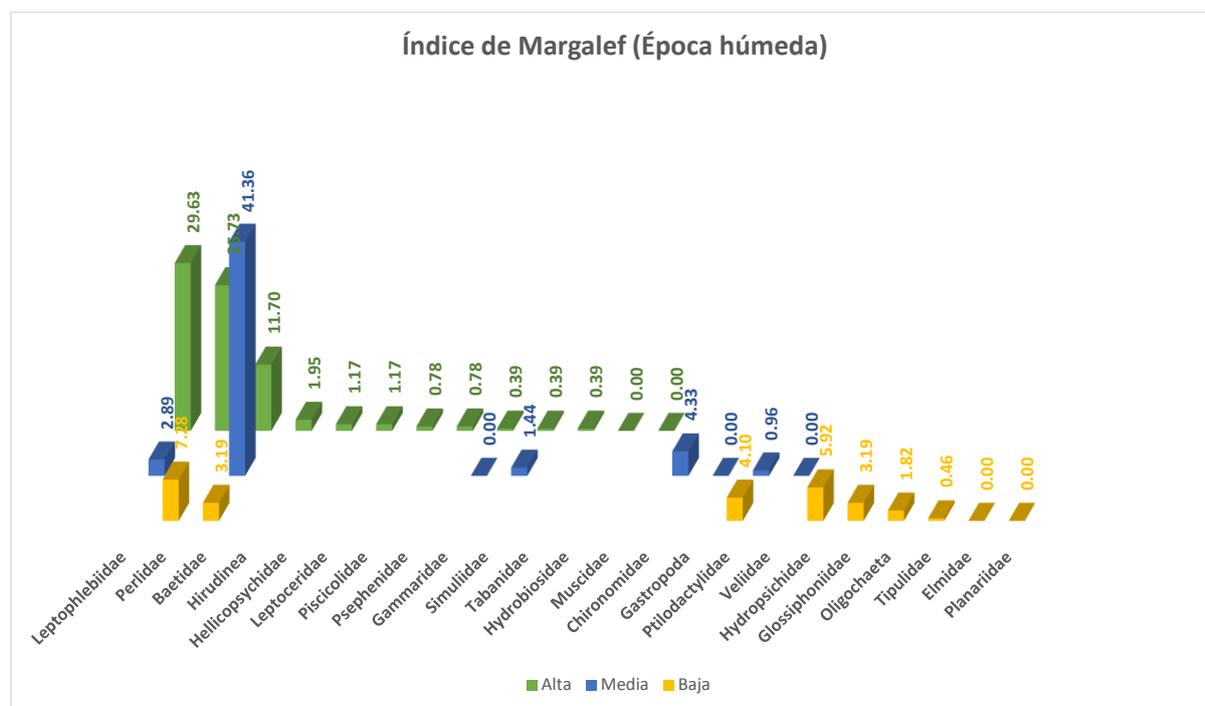


Figura 9

Índice de Margalef (Riqueza específica) en la época húmeda

Fuente: Elaboración Propia

B. Época Seca

En la época seca se encontró en la zona alta una muy buena riqueza de macroinvertebrados de categoría 10 (Perlidae) con un valor de 41.06; superando la puntuación mayor que estima el índice Margalef. En la zona media se encontró un valor de 70.77 que corresponde a los macroinvertebrados de categoría 9 (Leptophlebiidae). Por lo tanto en la zona baja la puntuación máxima es de 29.58 que pertenece a los macroinvertebrados de categoría 7 (Baetidae). Así mismo cabe mencionar que la zona baja muestra un valor de 2.52 de macroinvertebrados de categoría 10 (Perlidae).

Estos resultados nos indican que en el río hay una alta riqueza de macroinvertebrados que viven en aguas muy limpias. Así mismo exterioriza que la riqueza de estos

macroinvertebrados está disminuyendo en la zona baja del río Colcaqui y se está desarrollando una alta riqueza de los macroinvertebrados de categoría 7.

Tabla 12

Abundancia y riqueza específica de macroinvertebrados en la época húmeda

Familia	Abundancia			Riqueza Específica (Índice de Margalef)		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Baetidae	286	234	83	95.14	88.29	29.58
Leptophlebiidae	213	11	3	70.77	3.79	0.72
Perlidae	124	275	8	41.06	103.82	2.52
Elmidae	78	3	18	25.70	0.76	6.13
Gammaridae	49	226		16.02	85.26	
Oligochaeta	47	2	2	15.36	0.38	0.36
Hydrobiosidae	38			12.35		
Leptoceridae	32	20		10.35	7.20	
Simuliidae	20	5	15	6.34	1.52	5.05
Chironomidae	16	62	2	5.01	23.11	0.36
Ptilodactylidae	11	1	26	3.34	0.00	9.02
Helicopsychidae	8			2.34		
Tipulidae	3	26	1	0.67	9.47	0.00
Erpobdellidae	2			0.33		
Hirudinea	2		2	0.33		0.36
Hydrachnidae	2			0.33		
Muscidae	2		1	0.33		0.00
Tabanidae	2	3		0.33	0.76	
Hydrosychidae	1		18	0.00		6.13
Psychodidae	1			0.00		
Aeshnidae		26			9.47	
Physidae		2	2		0.38	0.36
Lymnaeidae			1			0.00
Planariidae			1			0.00
Psephenidae			5			1.44

Fuente: *Elaboración Propia*

La tabla 12 muestra el total de familias encontradas en todo el curso del río Colcaqui en la época seca o de menor precipitación (zona alta, zona media y zona baja) y la abundancia de cada una de ellas. Así mismo también muestra la riqueza específica de cada familia de macroinvertebrados presentes, obtenida por el cálculo del índice de Margalef.

En la figura 10 se puede visualizar de forma dinámica la presencia o ausencia de las familias de macroinvertebrados estudiados y la riqueza específica de cada una de ellas.

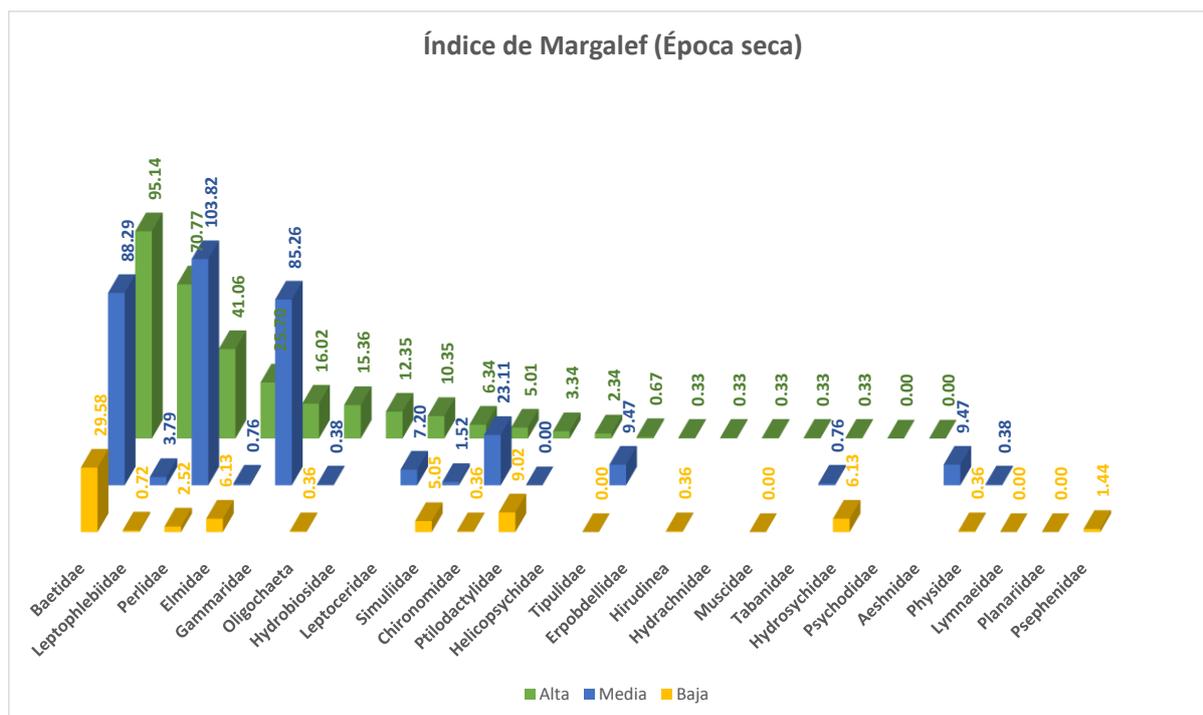


Figura 10

Índice de Margalef (Riqueza específica) en la época seca

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.3. Índice de Simpson

Tabla 13

Índice de Dominancia (Índice de Simpson) por zona estudiada en el río Colcaqui.

Época	Abundancia			Dominancia (Índice de Simpson)		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Húmeda	203	114	66	0.171	0.596	0.279
Seca	937	896	188	0.242	0.233	0.178

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 13 se muestra los resultados obtenidos por el índice de Dominancia y la cantidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en las tres zonas de estudio del río Colcaqui y las dos épocas. En donde muestra una moderada dominancia de los especímenes, y esto se debe a que ninguno de los datos obtenidos se aproxima o da como resultado 1. Este resultado relacionado con el índice biótico BMWP/Col muestra, que las familias presentes en el estudio corresponden a macroinvertebrados que viven en aguas ligeramente contaminadas y moderadamente contaminadas. Siendo la época seca la que presento mayor cantidad de estos especímenes.

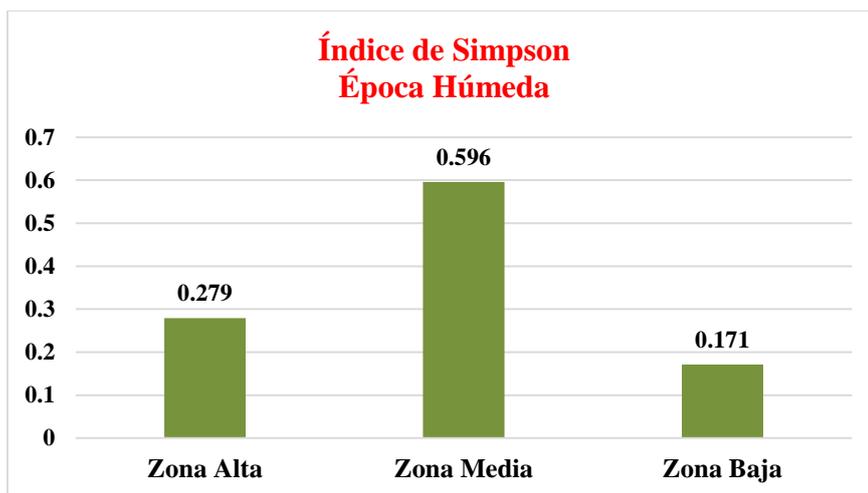


Figura 11

Índice de Abundancia de Simpson Época Húmeda.

Fuente: Elaboración Propia

Durante la época húmeda las zonas estudiadas muestran un nivel de abundancia bajo a excepción de la zona media que es la que más se aproximando a 1, por lo que se podría decir que la zona media del río Colcaqui muestra una regular abundancia de macroinvertebrados.

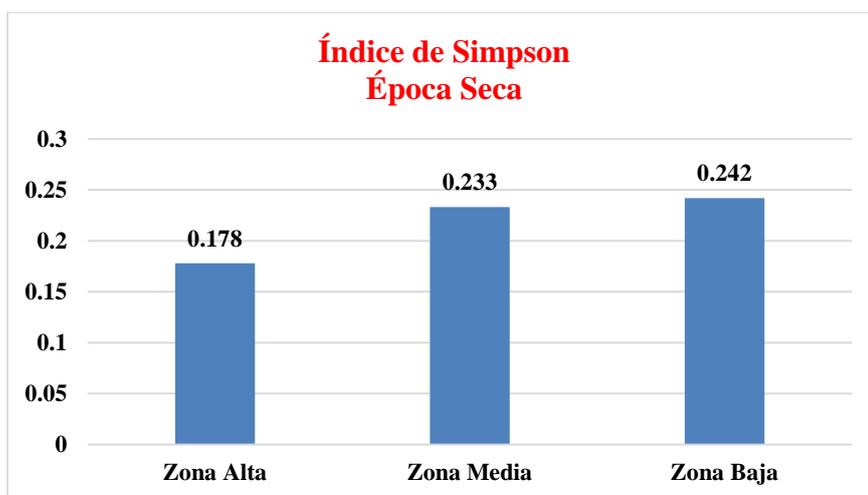


Figura 12

Índice de Abundancia de Simpson Época Seca.

Fuente: Elaboración Propia

En la época seca en las tres zonas estudiadas del río Colcaqui; los datos obtenidos muestran una aproximación a cero por lo que no hay una alta abundancia de macroinvertebrados acuáticos en esta época.

4.1.1.4. Índice de Shannon - Wiener

Tabla 14

Índice de Abundancia (Índice de Shannon) por zona estudiada en el río Colcaqui.

Época	Abundancia			Equidad (Índice de Shannon - Wiener)		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Húmeda	203	114	66	1.59	0.93	1.59
Seca	937	896	188	2.07	1.69	1.48

Fuente: Elaboración Propia

El índice de equidad Shannon – Wiener, indica que en la época seca la zona alta evidencia una mayor equidad de macroinvertebrados en comparación a las demás zonas; y en la época húmeda ninguna zona de estudio muestra una mayor equidad. Los valores obtenidos de Shannon se compararon con el cuadro de esquema de clasificación de las aguas de Staub et al., el mismo que se detalla en el marco teórico. Este cuadro da como resultado que durante la época seca la zona alta muestra una contaminación ligera del agua, mientras que en las demás zonas muestran una contaminación moderada. Y por último e la época húmeda en las tres zonas de estudio muestran una contaminación moderada de agua. Estos resultados también se grafican en las figuras 13 y 14.

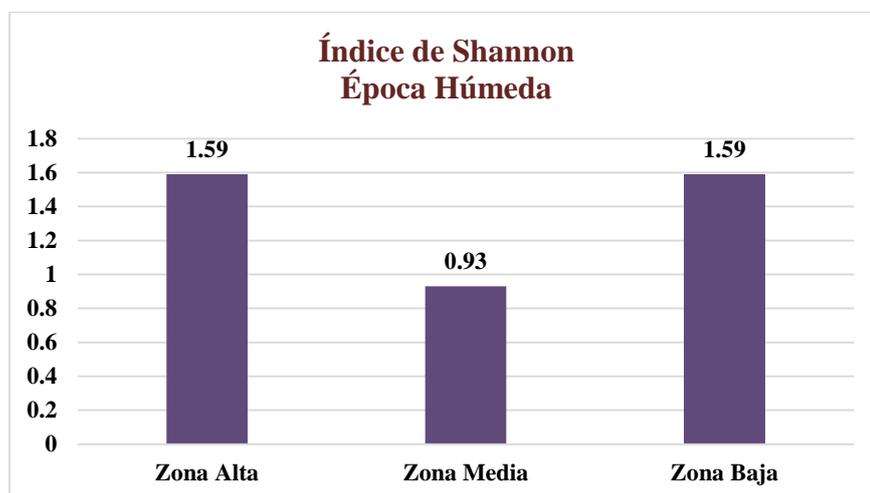


Figura 13

Índice de Shannon-Wiener Época Húmeda.

Fuente: Elaboración Propia

Los datos arrojados durante la época húmeda en el cálculo del índice de Shannon indican que hay una baja equidad en la zona media en comparación a la zona alta y baja.

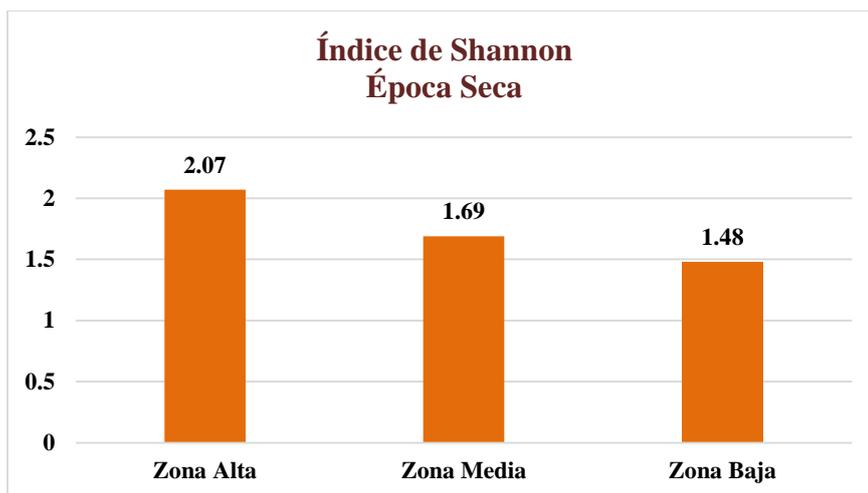


Figura 14

Índice de Shannon-Wiener Época Seca.

Fuente: Elaboración Propia

Los datos arrojados durante la época seca en el cálculo del índice de Shannon indican que hay una alta equidad en la zona alta en comparación a la zona media y baja.

El índice de diversidad alfa arrojó como resultado la riqueza, abundancia y equidad de los macroinvertebrados que al ser relacionados con la calidad del agua del río Colcaqui muestra una calidad de agua aceptable debido a que hay una presencia de contaminación ligera.

4.1.2. Índices bióticos

4.1.2.1. Índice BMWP/Col

Tabla 15

Resultado del Índice Biótico BMWP/Col en el río Colcaqui.

Zona	Epoca	ÍNDICES BIÓTICOS		
		BMWP/Col	Calidad	Significado
Alta	Húmeda	76	Aceptable	Aguas ligeramente Contaminadas
	Seca	92	Aceptable	Aguas ligeramente Contaminadas
Media	Húmeda	44	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
	Seca	77	Aceptable	Aguas ligeramente Contaminadas
Baja	Húmeda	53	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
	Seca	88	Aceptable	Aguas ligeramente Contaminadas

Fuente: Elaboración Propia

El índice BMWP/Col indica que en la época húmeda en la zona alta del río Colcaqui muestra aguas ligeramente contaminadas y en la zona media y baja aguas moderadamente

contaminadas. Así mismo en la época seca en las tres zonas de estudio muestran aguas ligeramente contaminadas.

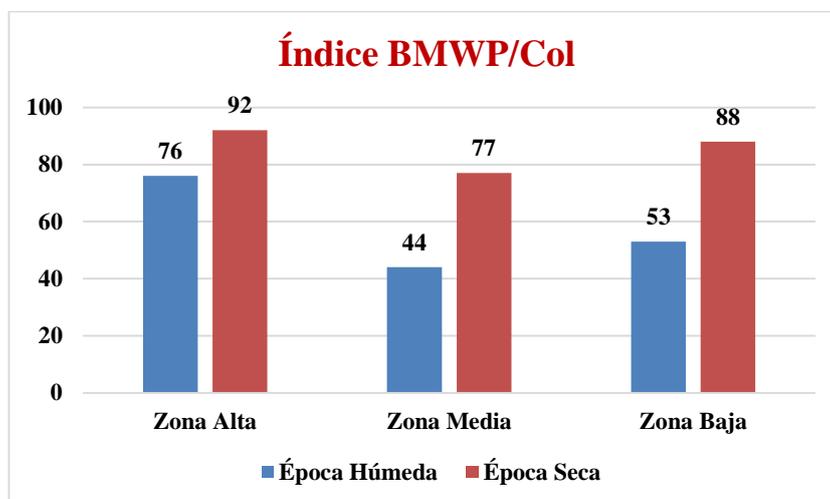


Figura 15

Índice BMWP/Col.

Fuente: Elaboración Propia

El índice BMWP/Col arroja un resultado promedio donde muestra una calidad de agua aceptable. Este resultado determina que la calidad del agua del río Colcaqui en sus tres zonas de estudio y ambas épocas muestra una calidad de agua aceptable, y puede albergar en ella vida acuática.

4.1.3. Índice ecológico

El estudio del hábitat fluvial y la vegetación ribereña de un río contribuyen a la determinación de la calidad del agua, es por ello que se empleó dos índices para el análisis de la vegetación y hábitat en el río Colcaqui durante el año 2017.

4.1.3.1. Índice de hábitat fluvial

Tabla 16

Índice de Hábitat Fluvial por zona estudiada en el río Colcaqui

Zona de Evaluación	IHF	Nivel de Calidad	Color Representativo
Zona Alta	93	Muy alta diversidad de hábitats	
Zona Media	74	Alta diversidad de hábitats	
Zona Baja	53	Diversidad de hábitats media	

Fuente: Elaboración Propia

El índice IHF indica que la zona alta del río Colcaqui presenta una muy alta diversidad de hábitats, por lo que es muy adecuada para el desarrollo de macroinvertebrados

acuáticos y como también de peces. La zona media muestra una alta diversidad de hábitats por lo que solo podría ser un buen hábitat para macroinvertebrados y no tan buena para los peces y por último la zona baja muestra una diversidad de hábitats media por lo que solo podría desarrollarse en ella macroinvertebrados.

4.1.3.2. Índice de QBR-And

Tabla 17

Índice de QBR-And por zona estudiada en el río Colcaqui.

Zona de Evaluación	Índice de QBR-And	Nivel de Calidad	Color Representativo
Zona Alta	75	Calidad Buena	
Zona Media	58	Calidad Intermedia	
Zona Baja	30	Calidad Pésima	

Fuente: Elaboración Propia

La zona alta del río Colcaqui muestra una vegetación ligeramente perturbada, quedando como resultado un nivel de calidad bueno y su color representativo es el verde. En la zona media hay un inicio de alteración importante y se le asigna el color amarillo por ser un nivel de calidad intermedia. Y por último la zona baja arroja una degradación extrema de la vegetación, su color es el rojo y el nivel de calidad es pésima.

Tabla 18

Resultado de los Índices Ecológicos en el río Colcaqui.

Zona de Evaluación	QBR-And	Nivel de Calidad	IHF	Nivel de Calidad
Zona Alta	75	Calidad Buena	93	Muy alta diversidad de hábitats
Zona Media	58	Calidad Intermedia	74	Alta diversidad de hábitats
Zona Baja	30	Calidad Pésima	53	Diversidad de hábitats media

Fuente: Elaboración Propia

El análisis del índice IHF, muestra un buen hábitat para el desarrollo de macroinvertebrados y otras especies acuáticas. Así mismo el índice QBR-And una calidad de vegetación intermedia porque hay presencia de otras especies arbóreas, chacras, puentes y alteración de la ribera por construcción de carreteras y casas. Quedando como resultado final que el índice ecológico muestra una calidad del agua buena.

4.1. Discusión de resultados

- ❖ Con relación al objetivo general de la presente investigación que era analizar los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad del agua en el río Colcaqui durante el año 2017; se pudo obtener como resultado que el río Colcaqui muestra en todo su curso una calidad de agua de clase II: Aguas aceptables; que son aguas ligeramente contaminadas. El mismo resultado que obtuvo Valcarcel (2011) en su tesis “Evaluación de la degradación de ecosistemas dulce acuícolas en la cuenca baja del río Uctubamba (Amazonas-Perú) mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos”.
- ❖ La diversidad y abundancia de ciertas especies de macroinvertebrados acuáticos (Perlidae, Leptophlebiidae, Ephemeridae, etc) determinan que tan buena es la calidad de agua. Debido que la ausencia de estas especies en las zonas del río puede significar que las condiciones del agua del río Colcaqui no son propicias para su desarrollo. El índice alfa aplicado en el estudio indica que no hay una gran diversidad de macroinvertebrados de aguas limpias en todo el curso de la cuenca. Segnini (2003) en la revista “El uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente”, argumenta que a mayor diversidad de especies de aguas limpias hay una mejor conservación del ecosistema acuático.
- ❖ El índice biótico empleado en este estudio indica que el agua del río Colcaqui es aceptable. Quedando que en ella puede desarrollarse vida acuática y ser usado para regadío de plantas de tallo alto y bebida de animales. Roldan (2003) en el libro “Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col”, argumenta que cuando se presentan ciertas perturbaciones en el cuerpo de agua se empiezan a desarrollar vida acuática resistentes a estos cambios, que nos da indicios que el agua de un río o lago es aceptable.

- ❖ Los índices ecológicos aplicados al estudio indican que el río Colcaqui muestra una calidad ecológica buena, lo cual influye positivamente en la calidad del agua del río. Acosta (2009) en el libro “Propuesta de un protocolo de evaluación de calidad ecológica de ríos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú”, argumenta que la calidad del agua depende de muchos factores importantes, como la cobertura vegetal, hábitat fluvial. Que si son alterados pueden generar una vulnerabilidad a los recursos hídricos dejándolos expuestos a potenciales disturbios, que se reflejan directamente en la calidad del agua.

CONCLUSIONES

- ❖ Con respecto al objetivo general se pudo determinar la calidad del agua del río Colcaqui utilizando macroinvertebrados acuáticos; dando como resultado una calidad de agua de clase II: Aguas aceptables; que son aguas ligeramente contaminadas. Donde se encontraron familias de macroinvertebrados Perlidae, Leptophlebiidae de puntuación 10 y 9, que corresponden a aguas limpias en todo el curso de la cuenca. Como también se encontraron Muscidae y Elmidae de puntuaciones 2 que corresponden a aguas muy contaminadas.
- ❖ La diversidad y abundancia (índice de diversidad alfa) muestra como resultado una calidad de agua aceptable debido a que hay una presencia de contaminación ligera.
- ❖ Los parámetros biológicos aplicados en el estudio mediante el índice biótico indican que el río Colcaqui presenta aguas aceptables y puede albergar en ella vida acuática.
- ❖ El estado ecológico analizado mediante los índices ecológicos muestran una calidad de agua buena en el río Colcaqui. Quedando que la zona alta presenta la mejor calidad arbórea y diversidad de hábitats; la zona media una calidad arbórea intermitente y una diversidad hábitats alta a comparación de la zona baja, donde hay mayor perturbación antrópica.

RECOMENDACIONES

- ❖ En el análisis de la diversidad alfa se recomienda trabajar con el índice Shannon – Wiener, por ser uno de los índices más populares para determinar abundancia, equidad y riqueza de las especies. Así mismo este índice ya cuenta con análisis para la determinación de la calidad del agua propuesto por Staub et al. (1970); que facilitará la determinación de la calidad del agua por indicadores biológicos.
- ❖ El índice biótico utilizado en este estudio determina la calidad del agua, y para llegar a esa determinación, también es necesaria el análisis de diversidad y el estado ecológico. Por lo que se recomienda usar un índice biótico integrado que englobe la parte ecológica, diversidad y biótica como es el caso del índice de integridad biótica (ABI).
- ❖ Los índices ecológicos ayudaron a determinar la calidad del agua utilizando índices de hábitat y QBR – And, estos índices fueron obtenidos del protocolo CERA, en donde fueron adaptados a la geografía de Perú y Ecuador. Por lo que se recomienda, realizar un estudio más extenso de estos índices en la cuenca hidrográfica.
- ❖ Se recomienda realizar un muestreo de macroinvertebrados en los periodos lluviosos, intermedios y secos para la obtención de una mayor base de datos de macroinvertebrados de aguas limpias y contaminadas por la actividad antrópica.
- ❖ Se recomienda a las instituciones del estado realizar normativas que regulen el uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad ecológica del agua en cuerpos de agua dulce.
- ❖ Se recomienda realizar un saneamiento a las viviendas cercanas al río con el fin de evitar el contacto de las aguas residuales domesticas con las aguas del río Colcaqui.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, B., & Prat, N. (2009). *Propuesta de un Protocolo de Evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. España: Asociación Ibérica .
- Acosta, R., Ríos, B., Rievadevall, M., & Prat, N. (2008). *Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la calidad Ecológica de Rios Andinos (CERA) y su Aplicación a dos Cuencas en Ecuador y Perú*. España: Asociación Ibérica de Limnología.
- Acuña Campos, E. S. (2013). *"Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante índices bióticos"*. Guatemala.
- Andrea Trama, F. (2014). *"Efecto de plaguicidas utilizados en los cultivos de arroz, sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y la calidad de las aguas en la cuenca baja del río Piura, Perú"*. Perú.
- Aznar, A., & Barba, A. (2000). *Determinación de los Parámetros fisicoquímicos de la Calidad de las Aguas*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Carrera, c., & Fierro, k. (2001). *Manual de Monitoreo: Los Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la Calidad del Agua*. Quito: EcoCiencia.
- Carvacho Aránguiz, C. A. (2012). *"Estudio de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile"*. Chile.
- Constantino, L., & Benavides, P. (2012). Evaluación de macroinvertebrados acuáticos y Calidad de agua en quebradas de fincas cafeteras De cundinamarca y santande. *Revista Científica*, 40.
- Diersing, N. (2009). *Water Quality: Frequently Questions"*. Florida: National Marine Sanctuary.

- Dominguez, E., & Fernández, H. (2009). *"Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos". Sistemática y Biológica*. Argentina: Miguel Lillo.
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., Garcia, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo Simplificado y Guía de Evaluación de la Calidad Ecológica de Rios Andinos (CERA-S)*. Ecuador: V&M Gráficos.
- Fanavos. (1988). *"Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos"*. México, D.F: MCgraw-Hill.
- Gabriel, R. P. (2004). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Bogotá: Presncia Ltda.
- Gil Gómez, J. A. (2014). *"Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas, y la comunidad de Macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa"*. Chile.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collacto, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *"Metodología de la Investigación"*. México: ISBN.
- Herrera, V., Severiano, Barreto, & Torres, D. (1990). *Colección la ciencia al día Química 1*. Bogota: Norma.
- Ladrera, R. (2012). Los Macroinvertebrdos Acuáticos como Indicadores del estado Ecológico de los Rios. *Revista Científica Ambiental*, 40.
- Lopez, R. M. (1995). *Ecología (En papel)*. España: OMEGA.
- Moreno, C. (2001). *Metodos para Medir la Biodiversidad M&T*. Zaragoza: Manuales y Tesis SEA.
- OMS. (2006). *"Guías para la Calidad del AGua Potable", Primer Apéndice de la tercera Edición*. Suiza: Catalogación por la Biblioteca de la OMS.
- Ostle. (1980). *"Estadística Aplicada"*. México, D.F.: Científica Técnica.

- Palma, A. (2013). *“Guía de Macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro”*. Chile: Universidad de Chile.
- Peralta Argomeda, J. L. (2012). *"Diversidad de la Entomofauna acuática y su uso como indicadores biológicos en humedales de villa, Lima, Perú"*. Perú.
- Prat, N. (1998). *"Bioindicadores de la calidad de las aguas,"Memorias del curso de bioindicadores de Calidad del Agua*. Medellín - Colombia: Universidad de Antioquia.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos: Sistemática y Biología*. Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Roldán Pérez, G. A. (1988). *"Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia"*. Antioquia - Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldan Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical 2da Edición*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldan, G. (2003). *Bioindicación de la Calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del Método BMWP/Col*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Segnini, S. (2003). "El uso de los Macroinvertebrados Bentónicos como indicadores de la Condición Ecológica de los de los cuerpos de agua corriente". *Ecotropicos*, 19.
- Staub, R., Appling, J., Hofstetter, A., & Hass, J. (1970). *"The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby County on primary planktonic producers"*. Estados Unidos: Bioscience.
- Valcárcel Rojas, D. R. (2011). *"Evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Uctubamba (Amazonas-Perú) mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos"*. Perú.
- Wilhm, J., & Dorris, T. (1968). *"Biological parameters of water quality"*. Estados Unidos: Bioscience.

Zigilio, G., Siligardi, M., & Flaim, G. (1998). *Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives*. Italy: Istituto Agrario of S.Michele.

ANEXOS

Anexo 01: Galería fotográfica

Imagen 01

Colocación del sustrato artificial



Fuente: Elaboración propia

En cada punto de muestreo se colocó tres sustratos artificiales.

Imagen 02

Recolección sustrato artificial



Fuente: Elaboración propia

Cumplido las 4 semanas se retiró los sustratos para colecta de macroinvertebrados.

Imagen 03

Recolección manual de macroinvertebrados



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la colecta de macroinvertebrados en sustratos naturales como piedras ramas y troncos sumergidos.

Imagen 04

Evaluación ecológica del río Colcaqui



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la evaluación utilizando el índice IHF y QBR-And.

Imagen 05
Equipos y materiales de análisis



Fuente: Elaboración propia

Se utilizó un estereoscopio, alcohol al 90%, frascos para muestras y la guía para el estudio de macroinvertebrados de Roldan (1988).

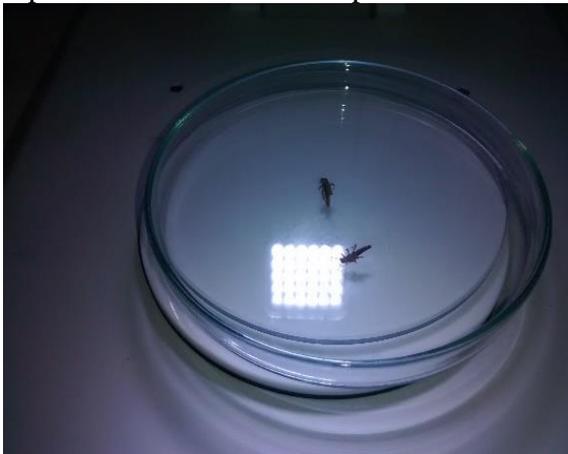
Imagen 06
Análisis de muestras con estereoscopio



Fuente: Elaboración propia

Se identificó los macroinvertebrados hasta el nivel de familia, por zona y época de estudio.

Imagen 07
Separación de las muestras para su análisis



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la separación de macroinvertebrados en placas Petri, con una gota de alcohol al 90%, para su análisis en el estereoscopio.

Imagen 08
Preservación de las muestras por familia



Fuente: Elaboración propia

Se realizó la preservación de las muestras por familia identificada, fecha, zona, época y punto de estudio.

Imagen 09
Perlidae



Fuente: Elaboración propia
Familia: Perlidae, Orden: Plecoptera,
Puntuación: 10. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas limpias.

Imagen 10
Leptophlebiidae



Fuente: Elaboración propia
Familia: Leptophlebiidae, Orden:
Ephemeroptera, Puntuación: 9. Corresponde
a macroinvertebrados de aguas ligeramente
contaminadas.

Imagen 11
Simuliidae



Fuente: Elaboración propia
Familia: Simuliidae, Orden: Diptera,
Puntuación: 8. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas ligeramente
contaminadas.

Imagen 12
Leptoceridae



Fuente: Elaboración propia
Familia: Leptoceridae, Orden: Trichoptera,
Puntuación: 8. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas ligeramente
contaminadas.

Imagen 13
Baetidae



Fuente: Elaboración propia

Familia: Baetidae, Orden: Ephemeroptera,
Puntuación: 7. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas ligeramente
contaminadas.

Imagen 14
Hydropsychidae



Fuente: Elaboración propia

Familia: Hydropsychidae, Orden:
Trichoptera, Puntuación: 7. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas ligeramente
contaminadas.

Imagen 15
Elmidae



Fuente: Elaboración propia

Familia: Elmidae, Orden: Coleoptera,
Puntuación: 6. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas
moderadamente contaminadas.

Imagen 16
Tabanidae



Fuente: Elaboración propia

Familia: Tabanidae, Orden: Diptera,
Puntuación: 5. Corresponde a
macroinvertebrados de aguas
moderadamente contaminadas.

Anexo 02: Composición de los macroinvertebrados colectados en el río Colcaqui

Abundancia de los macroinvertebrados en la época de mayor precipitación

Epoca	Zona	Familia	Orden	Abundancia
Mayor Precipitación	Alta	Baetidae	Ephemeroptera	31
		Gammaridae		2
		Hellicopsychidae	Trichoptera	4
		Hirudinea	Arthynchobdellida	6
		Hydrobiosidae	Trichoptera	1
		Leptoceridae	Trichoptera	4
		Leptophlebiidae	Ephemeroptera	77
		Muscidae	Diptera	1
		Perlidae	Plecoptera	67
		Piscicolidae		3
		Psephenidae	Coleoptera	3
		Simuliidae	Diptera	2
		Tabanidae	Diptera	2
	Total	13		203
	Media	Baetidae	Ephemeroptera	87
		Chironomidae	Diptera	10
		Gammaridae		1
		Gastropoda		1
		Leptophlebiidae	Ephemeroptera	7
		Ptilodactylidae	Coleoptera	3
		Simuliidae	Diptera	4
		Veliidae	Hemiptera	1
	Total	8		114
	Baja	Baetidae	Ephemeroptera	8
		Elmidae	Coleoptera	1
		Glossiphoniidae	Glossiphoniiformes	8
		Hydropsichidae	Trichoptera	14
		Oligochaeta		5
		Perlidae	Plecoptera	17
		Planariidae		1
		Ptilodactylidae	Coleoptera	10
		Tipulidae	Diptera	2
	Total	9		66
Total General			383	

Fuente: Elaboración Propia

Abundancia de los macroinvertebrados en la época de menor precipitación

Epoca	Zona	Familia	Orden	Abundancia	
Menor Precipitación	Alta	Baetidae	Ephemeroptera	286	
		Chironomidae	Diptera	16	
		Elmidae	Coleoptera	78	
		Erpobdellidae	Arthynchobdellida	2	
		Gammaridae	Amphipoda	49	
		Helicopsychidae	Trichoptera	8	
		Hirudinea	Arthynchobdellida	2	
		Hydrachnidae	Arachnoidea	2	
		Hydrobiosidae	Trichoptera	38	
		Hydrosychidae	Trichoptera	1	
		Leptoceridae	Trichoptera	32	
		Leptophlebiidae	Ephemeroptera	213	
		Muscidae	Diptera	2	
		Oligochaeta		47	
		Perlidae	Plecoptera	124	
		Psychodidae	Diptera	1	
		Ptilodactylidae	Coleoptera	11	
		Simuliidae	Diptera	20	
		Tabanidae	Diptera	2	
		Tipulidae	Diptera	3	
	Total	20	937		
	Media	Aeshnidae	Odonata	26	
		Baetidae	Ephemeroptera	234	
		Chironomidae	Diptera	62	
		Elmidae	Coleoptera	3	
		Gammaridae		226	
		Leptoceridae	Trichoptera	20	
		Leptophlebiidae	Ephemeroptera	11	
		Oligochaeta		2	
		Perlidae	Plecoptera	275	
		Physidae		2	
		Ptilodactylidae	Coleoptera	1	
		Simuliidae	Diptera	5	
		Tabanidae	Diptera	3	
		Tipulidae	Diptera	26	
	Total	14	896		
	Baja	Baetidae	Ephemeroptera	83	
		Chironomidae	Diptera	2	
		Elmidae	Coleoptera	18	
Hirudinea		Arthynchobdellida	2		
Hydropsichidae		Trichoptera	18		
Leptophlebiidae		Ephemeroptera	3		
Lymnaeidae			1		
Muscidae		Diptera	1		
Oligochaeta			2		
Perlidae		Plecoptera	8		
Physidae			2		
Planariidae			1		
Psephenidae		Coleoptera	5		
Ptilodactylidae		Coleoptera	26		
Simuliidae		Diptera	15		
Tipulidae	Diptera	1			
Total	16	188			
Total General		2021			

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 03: Formatos de los índices ecológicos empleados en el estudio.

Protocolo de condiciones de referencia en 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/ovacas 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.

Se considera que 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.

Fuente: (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009)

Índice de hábitat fluvial (IHF)

Bloques		Puntuación	
1. Inclusión rápidos			
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	
TOTAL (una categoría)			
2. Frecuencia de rápidos			
	Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7	10	
	Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
	Ocurrencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25	6	
	Constancia de flujo laminar o rápidos someros. Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25	4	
	Sólo pozas	2	
TOTAL (una categoría)			
3. Composición del sustrato (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser 0 para cada apartado)			
	% 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 (sumar categorías)			
4. Regímenes de velocidad / profundidad			
	<i>somero</i> : < 0.5 m 4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.	10	
	<i>lento</i> : < 0.3 m/s Sólo 3 de las 4 categorías	8	
	Sólo 2 de las 4	6	
	Sólo 1 de las cuatro	4	
TOTAL (una categoría)			
5. Porcentaje de sombra en el cauce			
	Sombreado con ventanas	10	
	Totalmente en sombra	7	
	Grandes claros	5	
	Expuesto	3	
TOTAL (una categoría)			
6. Elementos heterogeneidad (si hay ausencia de hojarasca el valor debe ser 0 puntos)			
	Hojarasca	> 10% ó < 75%	4
		< 10% ó > 75%	2
	Presencia de troncos y ramas		2
	Raíces expuestas		2
	Diques naturales		2
TOTAL (una categoría)			
7. Cobertura de vegetación acuática (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser cero para cada apartado)			
	% Plocon + briófitos	10 - 50%	10
		< 10% ó > 50%	5
		Ausencia absoluta	0
	% Pecton	10 - 50%	10
		< 10% ó > 50%	5
		Ausencia absoluta	0
	% Fanerógamas	10 - 50%	10
		< 10% ó > 50%	5
		Ausencia absoluta	0
TOTAL (sumar categorías)			
PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)			

Fuente: (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009)

Índice de la calidad de la vegetación de ribera andina (QBR-And)

ÍNDICE QBR-And
Calidad de la ribera para
Comunidades arbóreas
Protocolo CERA



La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos		Estación
		Observador
		Fecha
Grado de cubierta de la zona de ribera		Puntuación bloque 1
Puntuación		
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)	
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	
+ 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	
+ 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%	
- 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%	
- 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%	
Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera)		Puntuación bloque 2
Puntuación		
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %	
10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %	
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %	
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %	
+ 10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %	
+ 5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %	
+ 5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque.	
- 5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %	
- 5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad	
- 10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %	
Calidad de la cubierta		Puntuación bloque 3
Puntuación		
25	Todos los árboles de la zona de ribera autóctonos	
10	Como máximo un 25% de la cobertura es de especies de árboles introducidas	
5	26 a 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	
0	Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas	
+ 10	>75% de los arbustos son de especies autóctonas.	
+ 5	51-75% o más de los arbustos de especies autóctonas	
- 5	26-50% de la cobertura de arbustos de especies autóctonas	
- 10	Menos del 25% de la cobertura de los arbustos de especies autóctonas	
Grado de naturalidad del canal fluvial		Puntuación bloque 4
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)		

Fuente: (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009)

Anexo 04: Categorización del río Colcaqui según el ANA

000036



NSF ENVIROLAB S.A.C.

TABLA DE RESULTADOS
J-00218796

Río Colcaqui; altura de la granja San Antonio aguas arriba del Puente
Coord: N: 8494882
E: 731765

Informe de Ensayo N°:
Solicitante:
Fecha de Recepción:
Solicitud de Análisis:
Muestreado por:
Procedencia de la Muestra:

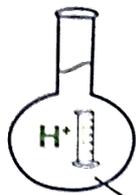
J-00218796
Autoridad Nacional del Agua
10/07/2016
Contrato N° 40-2015-ANA OA (Jul-437)
Cliente
Cuenca del Pachachaca

Punto de Muestreo			RRont-01	RPuru-01	RMarc-01	RCalc-01
Fecha y Hora de Muestreo			2016-07-09 07:35	2016-07-09 08:50	2016-07-09 13:20	2016-07-09 12:30
Parámetro	Límite de Cuantificación	Unidad	Resultados			
Acetatos y Grasas (ZL)	1	mg/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Bicarbonatos	0.1	mg/L	42.3	57.9	86.8	281.5
Cianuro Wad	0.004	mg/L	ND(<0.004)	ND(<0.004)	ND(<0.004)	ND(<0.004)
Cloruros	0.25	mg/L	0.30	0.40	0.90	10.54
DBO5	3	mg/L	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)
Detergentes	0.06	mg/L	ND(<0.06)	ND(<0.06)	ND(<0.06)	ND(<0.06)
DOO	6	mg/L	ND(<6)	ND(<6)	8	ND(<6)
Fenoles (Rango Bajo)	0.0007	mg/L	ND(<0.0007)	ND(<0.0007)	ND(<0.0007)	ND(<0.0007)
N - Nitrito	0.05	mg/L	0.09	0.06	0.27	0.18
N - Nitro	0.005	mg/L	ND(<0.005)	ND(<0.005)	ND(<0.005)	ND(<0.005)
Sulfatos (Turbidimétrico)	0.5	mg/L	6.5	5.6	7.7	74.6
Aluminio Total	0.005	mg/L	0.013	0.074	0.116	ND(<0.005)
Antimonio Total	0.006	mg/L	ND(<0.006)	ND(<0.006)	ND(<0.006)	ND(<0.006)
Arsénico Total	0.007	mg/L	ND(<0.007)	ND(<0.007)	ND(<0.007)	ND(<0.007)
Bario Total	0.001	mg/L	0.016	0.013	0.061	0.118
Berilio Total	0.0005	mg/L	ND(<0.0005)	ND(<0.0005)	ND(<0.0005)	ND(<0.0005)
Boro Total	0.008	mg/L	ND(<0.008)	ND(<0.008)	ND(<0.008)	0.046
Cadmio Total	0.00018	mg/L	ND(<0.00018)	ND(<0.00018)	ND(<0.00018)	ND(<0.00018)
Calcio Total	0.005	mg/L	13.95	17.85	22.84	97.74
Cobalto Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)
Cobre Total	0.002	mg/L	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)
Cromo Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)
Estroncio Total	0.003	mg/L	ND(<0.003)	ND(<0.003)	ND(<0.003)	ND(<0.003)
Estroncio Total	0.0007	mg/L	0.0666	0.0640	0.0643	0.6651
Fósforo Total	0.01	mg/L	ND(<0.01)	ND(<0.01)	0.01	0.02
Hierro Total	0.003	mg/L	0.023	0.101	0.194	ND(<0.003)
Litio Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	ND(<0.001)	0.002	0.006
Magnesio Total	0.004	mg/L	0.602	2.025	7.268	24.73
Manganeso Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	0.002	0.009	ND(<0.001)
Molibdeno Total	0.002	mg/L	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)	0.005
Níquel Total	0.002	mg/L	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)
Plata Total	0.002	mg/L	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)	ND(<0.002)
Plomo Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)
Potasio Total	0.02	mg/L	1.01	1.38	0.46	1.18
Selenio Total	0.0004	mg/L	ND(<0.0004)	ND(<0.0004)	ND(<0.0004)	0.0060
Sodio Total	0.02	mg/L	3.44	3.54	5.46	13.37
Talio Total	0.00015	mg/L	ND(<0.00015)	ND(<0.00015)	ND(<0.00015)	ND(<0.00015)
Titanio Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	0.004	0.006	ND(<0.001)
Vanadio Total	0.001	mg/L	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)	ND(<0.001)
Zinc Total	0.004	mg/L	ND(<0.004)	ND(<0.004)	ND(<0.004)	ND(<0.004)
Mercurio Total	0.0001	mg/L	ND(<0.0001)	ND(<0.0001)	ND(<0.0001)	ND(<0.0001)
Num. Coliformes Termotolerantes	1.8	NMP/100 mL	70	79	490	33
Num. Escherichia Coli	1.8	NMP/100 mL	70	49	490	33
Giardia duodenalis (detección)	Ausencia / Presencia	---	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Parasitos - Helmintos						
Tremátoda - Fasciola Hepática	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Tremátoda - Paragonimus sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Céstoda - Taenia sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Céstoda - Hymenolepis sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Céstoda - Diphylobothrium sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Nemátoda - Ascaris sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Nemátoda - Ancylostoma sp./Necator sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Nemátoda - Trichuris sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Nemátoda - Strongyloides sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Nemátoda - Enterobius sp.	1	Org/L	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)

< : Significa menor al Límite de cuantificación indicado.

Fuente: Autoridad Local del Agua (Apurímac)

Anexo 05: Análisis de los fisicoquímicos en los puntos de muestreo del río Colcaqui



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 102384090787 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL 984687752

INFORME N° LQ 0094-17

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUAS

SOLICITANTE :

LISSETH PIZAN SALDAÑO

MUESTRAS :

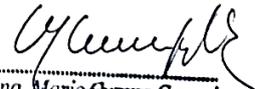
- M0.- Ccocha a la altura del reservorio de agua potable.
M1.- Ccocha a la altura de las chacras
M2.- Kerapata a la altura del reservorio para la captación del riego
M3.- kerapata parte baja a la altura de la toma de agua para granja
M4.- San Antonio a la altura del puente Capelo.
M5.- Colcaqui a la altura de las chacras
M6.- Colcaqui a la altura del puente Colcaqui cerca de la UNAMBA
M7.- Condebamba a la altura del puente Condebamba
M8.- Sector Mariño en el desemboque al río Mariño.

FECHA : 07 - 06 - 2017

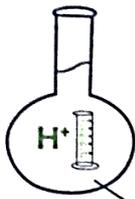
RESULTADOS :

DETERMINACIONES		UNIDAD	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Conductividad		uS/cm	370	370	360	365	340	340	370	390	323
Dureza Total	Ca CO ₃	mg/L	240	220	220	240	250	240	210	270	245
Alcalinidad Total	Ca CO ₃	mg/L	175	175	150	175	175	175	175	150	200
Acidez Total	CO ₂	mg/L	38	38	38	38	38	38	57	38	47
pH			8.2	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4	8.2	8.2
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	24	23	25	25	22	25	20	25	25
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	180	205	200	180	180	184	150	110	120
Oxígeno Disuelto (OD)		mg/L	8.0	9.0	8.2	8.1	8.0	8.0	8.0	7.8	7.0
DBO		mg/L	2	2	2	3	3	3	2	2	2
DQO		mg/L	4	5	5	6	6	6	4	4	5
Sólidos en suspensión		mg/L	2	6	2	6	2	2	6	10	10
Fosfatos	HPO ₄ ⁼	mg/L	0.02	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/L	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Turbidez		NTU	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sólidos T. Disueltos		mg/L	280	290	280	290	280	280	240	250	240
Temperatura		°C	20	20	21	20	20	22	21	21	21

METODO DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERAAATION (WPCF).



 Ing. Mario Cumpa Cayuri
 Reg. CIP. 16188
 CONSULTOR AMBIENTAL DREM-GR-CUSCO
 CATEGORIA I Y II



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 102384090787 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL 984687752

CONCLUSIONES:

- ❖ Los resultados de los diferentes parámetros indican que es un río natural con valores propios de la mayoría de los ríos naturales de la sierra, con algunas diferencias entre tramo y tramo sin mayor contaminación fisicoquímica.
- ❖ El pH corresponde a aguas alcalinas, esto significa que en la parte alta del río debe encontrarse yacimientos alcalinizantes como carbonato de calcio, lo cual hace que el pH sea relativamente alto para un río natural.


Mario Cumpa Cayuri
Ing. Mario Cumpa Cayuri
Reg. CIP. 16188
CONSULTOR AMBIENTAL DREM-GR-CUSCO
CATEGORIA I Y II

Anexo 06: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General: ¿En que medida los macroinvertebrados acuáticos determinan la calidad del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017?	Objetivo General: Analizar a los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017.	Calidad del Agua	Diversidad y Abundancia	§ Riqueza Específica § Dominancia § Equidad	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Descriptiva Su diagrama es de la siguiente manera
PE1: ¿Cómo determinar la calidad del agua mediante la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Colcaqui, durante el año 2017?	OE1: Determinar la calidad del agua mediante la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos utilizando el índice de diversidad alfa en el río Colcaqui, durante el año 2017		Parámetros biológicos	§ Comunidad de macroinvertebrados presentes (Familia)	M ----- O₁ Donde: M= Muestra O ₁ = Observación de la variable
PE2: ¿De qué manera los parámetros biológicos determinan la calidad del agua en el río Colcaqui, durante el año 2017?	OE2: Determinar la calidad del agua del río Colcaqui mediante los parámetros biológicos utilizando el índice biótico, durante el año 2017		Estado Ecológico	§ Índice de Hábitat fluvial (IHF) § Índice QBR-AND	Diseño de la investigación: No experimental, transeccional
PE3: ¿Cómo determinar la calidad del agua mediante el estado ecológico del río Colcaqui, durante el año 2017?	OE3: Determinar la calidad del agua mediante el estado ecológico del río Colcaqui utilizando los índices ecológicos, durante el año 2017.				

Fuente: Elaboración Propia