UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUB CUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMÍCOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:
Bach. **LIZET CATERIN JARA VALVERDE**

ASESOR:
Dr. **ELADIO GUILLERMO TUYA CASTILLO**

Huaraz, Ancash, Perú

julio – 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUB CUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMÍCOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:
Bach. **LIZET CATERIN JARA VALVERDE**

ASESOR:
Dr. **ELADIO GUILLERMO TUYA CASTILLO**

Huaraz, Ancash, Perú

julio – 2020

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: JARA VALVERDE LIZET CATERIN

Código de alumno: 072.0506230 Teléfono: 986061202

Correo electrónico: lizetjara095@gmail.com DNI o Extranjería: 45983316

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

- [x] Tesis
- [ ] Trabajo de Suficiencia Profesional
- [ ] Trabajo Académico
- [ ] Trabajo de Investigación
- [ ] Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Título Profesional o Grado obtenido:

INGENIERIA AMBIENTAL

4. Título del trabajo de investigación:

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUB CUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

7. Asesor:

Apellidos y nombres TUYA CASTILLO ELADIO GUILLERMO Correo electrónico: eladiogtc@hotmail.com

Teléfono: 943567202 N° de DNI o Extranjería: https://orcid.org/0000-0003-0310-801X ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0310-801X

8. Tipo de acceso al Documento

- [x] Acceso público* al contenido completo.
- [ ] Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

Firma del autor

11. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons,* con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

……

12. Para ser llenado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de recepción del documento por el Repositorio Institucional:

27/11/20

Firma:

Varillas Wiliam Eduardo

CORRESPONSABLE

- UNASAM -

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditórium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUB CUENCA DEL RÍO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019"**, que presenta **JARA VALVERDE LIZET CATERIN** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de: DIECISEIS (16)

En consecuencia, **JARA VALVERDE LIZET CATERIN** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario Nº 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector Nº 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector Nº 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 05 de marzo del 2020

Dr. Heraclio Fernando Castillo Picón
Presidente
Jurado de sustentación

MSc. Rosario Adriana Polo Salazar
Primer miembro
Jurado de sustentación

Ing. Ciro Walter Fernández Rosales
Segundo miembro
Jurado de sustentación

Dr. Eladio Guillermo Tuya Castillo
Asesor de tesista

DEDICATORIA

A Dios, por todo el amor y salud para poder continuar hasta lograr mis objetivos, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, Jorge y Gladys, por ser mi guía, cuidar cada paso que doy y darme la fortaleza para afrontar la vida.

A mi hermano, Patrick, por ser mi apoyo incondicional y motivo para seguir adelante; por tu amor y confianza en mí.

Lizet Caterin Jara Valverde.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, y a sus maestros, por el tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional

Al Dr. Eladio Tuya Castillo, por la exigencia y el asesoramiento permanente para el cumplimiento de esta tesis.

A (+) Alex Gallozo Huerta, por el apoyo incondicional y asesoramiento para el cumplimiento de esta tesis.

A , Elizabeth Rojas, por siempre darme su apoyo constante y darme ánimos para terminar la tesis.

A mi familia, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su incondicional apoyo y amor. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue determinar la calidad del agua de la subcuenca del río Pariac en la quebrada de Rajucolta, Huaraz, mediante el uso de parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Pariac que tiene una distancia aproximada de 21 Km^2 y un área húmeda de 1,298 km2, con una altura media desde los 3250 m.s.n.m., altitud inferior y una altitud superior a los 6369 m.s.n.m.

Se registraron 801 individuos pertenecientes a 13 órdenes y 32 familias (Tabla 7). El mayor número de familias encontradas (11) pertenecen a la clase Insecta orden Díptera.

Con relación al índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) reporta que la calidad de agua fluctúa entre calidad regular y calidad aceptable, para el índice biótico Andino (ABI), la calidad ecológica del agua fluctúa entre bueno a muy bueno. Con relación al índice Ephemeróptera – Plecóptera –Trichóptera las aguas son buenas de acuerdo con la Tabla Nº 10, de igual manera con relación al índice de Shannon y Wiener registran un valor de 3.2, lo que demuestra que el agua se encuentra ligeramente polucionado. En este estudio se comprueba que los cambios ambientales juegan un rol importante sobre los patrones de riqueza y distribución de la comunidad bentónica en la zona de estudio.

Palabras clave: macroinvertebrados bentónicos, índices BMWP, IBA, EPT, indicadores biológicos.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the water quality of the sub basin of the Pariac river in the Rajucolta ravine, Huaraz, by using benthic physicochemical and macroinvertebrates parameters sub-basin of the Pariac river that has an approximate distance of 21 Km2 and a wet area of 1,298 km2, with an average height from 3250 meters above sea level, lower altitude and an altitude above 6369 meters above sea level.

801 individuals belonging to 13 orders and 32 families were registered (Table 7). The largest number of families found (11) belong to the insect class Diptera order.

In relation to the Biological Monitoring Working Party index (BMWP), it reports that the water quality fluctuates between regular quality and acceptable quality; for the Andean Biotic index (ABI), the ecological quality of water fluctuates between good and very good. In relation to the Ephemeróptera, Plecóptera and Trichóptera index, the waters are good according to Table No. 10, in the same way in relation to the Shannon and Wiener index, they register a value of 3.2 which shows that the water is slightly polluted. This study shows that environmental changes play an important role of the patterns of wealth and distribution of the benthic community in the study area.

Keywords: benthic macroinvertebrates, BMWP indices, IBA, EPT, biological indicator.

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN i

ACTA DE SUSTENTACIÓN ii

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTOS iv

RESUMEN v

ABSTRACT vi

LISTA DE TABLAS x

LISTA DE FIGURAS xi

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA xii

SIGLAS ……..xiii

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Objetivos 3

1.1.1 Objetivo general 3

1.1.2 Objetivos específicos 3

1.2 Hipótesis 4

1.3 Variables..... 4

1.3.1 Variable Independiente:..... 4

1.3.2 Variable Dependiente: 4

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO 5

2.1. Antecedentes 5

2.2. Bases Teóricas 8

2.2.1. Agua 8

2.2.2. Ecosistemas acuáticos 9

2.2.3. Macroinvertebrados 9

2.2.4. Principios de la bioindicación 9

2.2.5. Los ríos altoandinos su importancia 10

2.2.6. Análisis biológicos 11

2.2.7. Bioindicadores 11

2.2.8. Macroinvertebrados bentónicos 12

2.2.9. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos 13

2.2.10. Importancia de los indicadores biológicos 13

2.2.11. Principales macroinvertebrados 14

2.2.11.1. Orden Coleóptera 14

2.2.11.2. Orden Díptera 14

2.2.11.3. Orden Odonata 15

2.2.11.4. Orden Plecóptera 15

2.2.11.5. Orden Ephemeróptera 15

2.2.11.6. Orden Trichóptera 16

2.2.12. Parámetros fisicoquímicos 16

2.3. Definición de términos básicos 24

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO 27

3.1. Ubicación de la zona de estudio 27

3.2. Tipo de investigación 28

3.3. Diseño de investigación 28

3.1. Población y muestra 28

3.1.1. Población 28

3.1.2. Muestra 28

3.1.3. Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo de la subcuenca Pariac 30

3.1.4. Unidad de Muestreo 33

3.2. Métodos y técnicas 33

CAPÍTULO IV

RESULTADOS 39

4.1 Determinación de la calidad del agua usando los índices BMWP, el índice de biodiversidad Andina (IBA), índice EPT, y el índice de Shannon y Wiener. 39

4.2 Relación de la diversidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos del agua 43

4.3 Para la Estimación de la calidad del agua considerando la importancia de los macroinvertebrados como indicadores biológicos 43

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN 45

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES 49

RECOMENDACIONES 50

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 52

ANEXOS 55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Escala de valores del Índice Ephemeróptera, Plecóptera, Trichóptera..... 19

Tabla 2: Valores del índice de BMWP, según los rangos de calidad 20

Tabla 3: Clases de estado ecológico según ABI en el Perú 21

Tabla 4: Esquema de clasificación de la calidad del agua de acuerdo con los valores del índice de Shannon-Wiener (H') 23

Tabla 5: *Niveles de sensibilidad de las familias de macroinvertebrados a la contaminación* 36

Tabla 6: Registro de EPT para obtener el índice correspondiente 38

Tabla 7: Calificación del Índice Biotico Andino a partir de las familias de los macroinvertebrados en los diferentes puntos de muestreo. 40

Tabla 8: Índice de Shannon-Wiener de los macroinvertebrados totales reportados.... 41

Tabla 9: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera presentes para el total de abundancia y su relación con la calidad de agua. 42

Tabla 10: Parámetros fisicoquímicos en los diferentes puntos de muestra. 43

Tabla 11: Coeficiente de correlación entre los parámetros muestreados. 43

Tabla 12: Calidad del agua a partir de los índices BMWP, ABI 44

Tabla 13: Descripción de los puntos de muestreo 59

Tabla 14: Datos tomados en campo 70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de la zona de estudio 31

Figura 2: Recolección de macroinvertebrados en la zona de muestreo 33

Figura 3: Separación de los macroinvertebrados recolectados 34

Figura 4: Identificación de los macroinvertebrados en el laboratorio. 34

Figura 5: Proceso de medición con el uso del multiparametro..... 35

Figura 6: Toma de muestra a orillas del río Pariac. 61

Figura 7: Poniendo la muestra tomada al recipiente para su posterior análisis..... 61

Figura 8: Observación in situ de la presencia de macroinvertebrados. 62

Figura 9: Toma de muestras en los puntos PM02 y PM03..... 62

Figura 10: Toma de muestras de los parámetros fisicoquímicos en campo. 63

Figura 11: Separación de muestras para su identificación en el estereoscopio. 64

Figura 12: Muestras separadas para su identificación en el estereoscopio. 64

Figura 13: Identificación de los macroinvertebrados en el estereoscopio. 65

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

DENOMINACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	ABREVIATURA
Temperatura	Celsius	(°C)
Humedad relativa	Porcentaje	(%)
Precipitación	Milímetro	(mm)
Conductividad eléctrica	µs/cm	CE

SIGLAS

SIGLA	DENOMINACIÓN
BMWP	Índice Biological Monitoring Working Party.
IBA	Índice Biótico Andino.
EPT	Ephemeróptera – Plecóptera –Trichóptera.
OD	Oxígeno Disuelto.
T°	Temperatura.
CE	Conductividad Eléctrica.
ECA	Estándares de Calidad de Agua.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales son complejos, multivariados y, simultáneamente, están expuestos a una gran variedad de estresores; sin embargo, en esos mismos ecosistemas existen los macroinvertebrados bentónicos que constituyen la fauna más recomendable para verificar la calidad de los cuerpos de agua a través de su evaluación, en razón a que estos se encuentran en todo cuerpo de agua. Esto favorece a los estudios comparativos, su estilo de vida sedimentaria permite un análisis espacial de los efectos que ocasiona en la calidad del cuerpo de agua, tiene ventajas técnicas simples y baratas para su extracción y realizar muestreos cuantitativos para su análisis. Muchas de las especies de macroinvertebrados bentónicas están bien estudiadas desde el punto de vista de su clasificación taxonómica.

El agua en nuestro planeta es un recurso natural valioso renovable, pero vulnerable, que se regenera constantemente de forma natural con el ciclo hidrológico. El exceso de contaminantes puede mermar este ciclo natural, trayendo como consecuencia la escasa disponibilidad del agua. Las calidades de las aguas superficiales se ven determinadas por la evaluación de bioindicadores como la comunidad macroinvertebrada bentónica ya que su aplicación solo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices bióticos e índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la

calidad del agua. Adicionalmente a ello se utiliza la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua, complementando el monitoreo biológico. Los organismos bioindicadores, son atributos de los sistemas biológicos, que presentan requerimientos específicos, por lo que se emplean para descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento relacionado con el ambiente. Así mismo, estos bioindicadores tienen requerimientos de los parámetros fisicoquímicos conocidos, tal que la presencia o ausencia, número, morfología, fisiología o comportamiento de una especie, en particular, indican que las variables fisicoquímicas consideradas se encuentran cerca de sus límites de tolerancia permitiendo identificar taxones de organismos que pueden servir como indicadores de aguas de buena calidad o de aguas de mala calidad.

El uso de macroinvertebrados bentónicos empleados como bioindicadores de la calidad de las aguas continentales, viene incrementándose en estos últimos años en lo que respecta a la protección de los ambientes acuáticos (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009)

Dentro del empleo de los macroinvertebrados, los más usados son los insectos, por su sensibilidad a los cambios y alteraciones en los ecosistemas, ya que poseen una amplia variedad de respuestas al estrés ambiental. (De la Lanza & Hernández , 2011).

Por otra parte, con la aprobación del Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM, de los estándares nacionales de la calidad ambiental para agua en el Perú y la puesta en marcha del Ministerio del Ambiente, se han desarrollado acciones que conllevan a una mejor utilización de los recursos naturales; especialmente, aquellos ecosistemas considerados, erróneamente por el hombre, como inagotables; como es el caso del recurso hídrico. El motivo de la investigación nos lleva a aplicar una forma más de demostrar la calidad del agua, mediante la determinación de la diversidad de individuos que forman el zoobentos, de lo que se pueden obtener muchos otros aspectos de estudio.

La subcuenca del río Pariac pertenece a la quebrada de Rajucolta, aledaño al centro poblado de Machasca. Nuestro país cuenta con un promedio de 52 emisarios que desembocan al océano pacifico, y con una enorme cantidad de subcuencas, como es el caso de la laguna Tambillos que se encuentra en un

proceso de desglaciación, y por ende la meteorización de las rocas está alterando la calidad del agua con la consecuente degradación de los ríos como es el caso de los diferentes lugares del planeta. La subcuenca del rio Pariac no es ajena a este fenómeno; siendo la principal causa, la actividad antrópica, además de los factores ambientales que predominan en el cauce debiendo señalar que en la parte alta de la cuenca hay presencia de tierras exclusivamente de pastoreo; las que afectan a la calidad de las aguas.

Las diferentes actividades, a lo largo de la subcuenca pueden influir en la biodiversidad de los macroinvertebrados, así como en la calidad fisicoquímica de las aguas; de allí la importancia de efectuar un diagnóstico de estas aguas con la finalidad de tomar las acciones correctivas dentro del marco de la normatividad.

Uno de los hechos de mayor trascendencia es el cambio climático que afecta y seguirá afectando a la comunidad de macroinvertebrados al alterarse la calidad de las aguas producto de la meteorización de las rocas; así por ejemplo tenemos la actividad ganadera. Por ello, nos planteamos el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es la calidad del agua de la subcuenca del río Pariac en la quebrada de Rajucolta, empleando macroinvertebrados bentónicos acuáticos y parámetros fisicoquímicos?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar la calidad del agua de la subcuenca del río Pariac en la quebrada de Rajucolta, Huaraz, mediante el uso de parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados bentónicos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la Calidad del agua usando los índices de biodiversidad BMWP, IBA, índice EPT, y el índice de Shannon y Wiener.
- Relacionar la diversidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos del agua.

- Estimar la calidad de agua considerando la importancia de los macroinvertebrados como indicadores biológicos.

1.2 Hipótesis

La relación que existe entre la diversidad de macroinvertebrados bentónicos, los parámetros fisicoquímicos del agua son suficientes para estimar la calidad de agua de la subcuenca del río Pariac sector Tambillo en la quebrada de Rajucolta.

1.3 Variables

1.3.1 Variable Independiente: diversidad de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros fisicoquímicos.

1.3.2 Variable Dependiente: calidad del agua de la subcuenca del río Pariac.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En la investigación realizada por Rubio, Meza y Walteros (2012) expresan que en total se colectaron 7486 macroinvertebrados distribuidos en 13 órdenes, 37 familias y 74 géneros. Los resultados de este estudio indican que existen diferencias significativas en cuanto a riqueza de macroinvertebrados entre las estaciones con vegetación ribereña y sin vegetación. Con respecto a la composición, la estación 1 es la que presentó mayor número de géneros exclusivos. Indica que 26 géneros de macroinvertebrados fueron compartidos por las tres estaciones, 18 géneros fueron exclusivos para la estación 1, ocho géneros exclusivos para la segunda y la tercera estación solamente cuatro géneros fueron propios. Las variables fisicoquímicas evaluadas y los resultados obtenidos con los índices bióticos BMWP y EPT indican que existen diferencias entre la calidad de agua de las estaciones 1 y 2 con respecto a la estación 3. Los resultados de este estudio indican que la vegetación ribereña es un factor determinante para el establecimiento de la comunidad de macroinvertebrados.

Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador; trabajo realizado

por Yépez, Yanez y Morales (2017), evidenciaron que los sitios de muestreo del cuerpo hídrico que atraviesa la zona urbana de la ciudad de Quevedo se encuentran fuertemente contaminadas a causa de las actividades antropogénica que se desarrollan en ella. La menor calidad hídrica la presentó el sitio de muestreo con influencia de descargas residenciales (ER), esto quedó evidenciado con las bajas puntuaciones de diversidad y del índice de calidad hídrica BMWP-Col (crítica). En este contexto, las actividades antrópicas influyeron negativamente en la estructura de las comunidades de insectos acuáticos, repercutiendo negativamente en el equilibrio ecológico del cuerpo de agua.

La Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú), reportado por Vazquez y Medina (2015) señalan que los macroinvertebrados capturados en la microcuenca del rio Tablachaca: los ríos Paragón y Puente Hondo presentan una calidad biológica aceptable. Los ríos: Conzuso, Puente Piedra, Conchucos y Tablachaca presentan una calidad biológica regular. Contrariamente el río Pelagatos que presenta una calidad biológica mala y el rio Pampas una calidad biológica pésima. Sin embargo, según los parámetros físicoquímicos evaluados, a excepción de los fosfatos, los valores de estos parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua, según el DS 002-2008-MINAM, (ii) Los macroinvertebrados de la microcuenca Tablachaca, en el distrito de Pampas, en el 2014 están constituidos por 10 órdenes; distribuidos en 31 familias. La clase Insecta es el grupo más representativo, con 24 familias.

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos mejor estudiada en Colombia es la entomofauna. Las órdenes Ephemeróptera, Plecóptera y Trichóptera son los mejor conocidos en cuanto a su taxonomía, ecología y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua. Es necesario profundizar en el estudio de algunos grupos como los anélidos, moluscos, ácaros y dípteros, de los cuales aún falta conocimiento de su taxonomía y autoecología. El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), desarrollado en Europa en el siglo XX a partir de la década de los años setenta, es muy popular en Colombia y Latinoamérica, pero es necesario

hacer adaptaciones para las diferentes regiones en el continente. Este trabajo presenta una revisión de los estudios realizados durante las últimas cuatro décadas en Colombia, y de manera general en Latinoamérica. Se presenta el estado actual del conocimiento de los diferentes grupos de los macroinvertebrados acuáticos en términos de la resolución taxonómica, los aspectos ecológicos y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua (Roldan, 2016).

En la Tesis de Galloso y Yauri (2017) concluyen que las familias de macroinvertebrados identificados con mayor abundancia en época de estiaje (julio-2016) son las de Chironomidae con 350 individuos y en menor cantidad, las familias Odontoceridae, Leptophebiidae y Hydropsychidae con 02 individuos respectivamente. Las familias de macroinvertebrados identificados con mayor abundancia en época de avenida (abril-2016) son las de Chironomidae con 291 individuos y en menor cantidad, la familia Limnephilidae con 01 individuo. Las familias de macroinvertebrados identificados con mayor abundancia en época de avenida (octubre-2016) son los Hyalellidae con 119 individuos y en menor cantidad, las familias Glossosomatidae y Gripopterygidae con 01 individuo respectivamente

Cruz (2015) en su informe biorremediación de las aguas del río Santa señala que en la primera salida que pertenece a la época de lluvia (abril) se identificó las estaciones contaminadas, tales como la 2, 3, 4, 5, 6, 7 (bocatomas La Huaca-Chinecas y Chavimochic, y confluencia de los ríos Santa y Tablachaca), y en menor medida, la 1, 9, 10, 12 y 13 (confluencia de los ríos Santa y Mantas, central hidroeléctrica de Huallanca, puente Carbonera y Huanchuy). El resto de las estaciones podrían considerarse como referencia, o menos impactadas. Por la presencia de algunas familias como: Baetidae, Leptophlebiidae, Hydroptilidae. En la segunda salida que pertenece a la época de estiaje (octubre), refiere que identificó las estaciones contaminadas, tales como la 1, 3, 5, 6, 8, 17 y 18 (Puente Santa, dique de la bocatoma La Huaca-Chinecas, bocatoma Chavimochic, confluencia de los ríos Santa y Tablachaca, y Santa y Mantas, y los puentes Nueva Florida y Jangas), y en menor medida, la 2, 9, 10 y 12 (salida del desarenador de la bocatoma la Huaca-Chinecas, aguas arriba de la confluencia de los ríos Santa y Mantas, aguas abajo de la central

hidroeléctrica de Huallanca y el puente Carbonera). El resto de las estaciones podrían considerarse como referencia, o menos impactadas. La contaminación por metales tiene una fuerte capacidad para estructurar las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, y que existen familias que se desarrollan bajo condiciones extremas para la vida como los Chironomidae

Sobre el estudio de la calidad del agua del río Chili en Arequipa, mediante el uso del índice ABI que de acuerdo a (Medina, 2011) que hace referencia a la presencia de macroinvertebrados con mayor incidencia en los ríos de la sierra, es decir parte andina, asimismo infiere que este índice es una adaptación del índice BMWP para poder obtener resultados más exactos y confiables, así que los realizó en tres estaciones a lo largo de la subcuenca del río Chili en los meses de junio a agosto del 2011, donde se monitoreó macroinvertebrados y algunos parámetros fisicoquímicos; en cuanto al primero, se identificaron 11 familias dentro de 9 órdenes, entre las cuales la más abundante fue Díptera , seguido por Trichóptera y Ephemeróptera ; concluyendo que la calidad del agua del río Chili, es de regular a mala o contaminada, porque la puntuación obtenida en el Índice ABI fue 36.

García (2016) expresa que, comparando los valores de riqueza específica y abundancia, los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de equidad de Pielou (J') y del análisis de similitud (ANOSIM), se observan diferencias significativas a nivel temporal determinadas por la hidrología de la cuenca. El autor en referencia encontró una mayor riqueza de taxa y abundancia de individuos en la época seca, ya que en esta época el caudal del río es más estable.

Muñoz (2016) según su valoración del índice EPT, todas las campañas que se realizaron calificaron al río Grande con una calidad de agua moderadamente impactada según la calificación establecida por Klemm et al. (1990). Los valores más altos que se obtuvieron están en las campañas 1 y 4 siendo los valores obtenidos 2,20 en ambas campañas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Agua

Smith y Smith (2010) señalan que el agua tiene una estructura molecular única, en ella un átomo de oxígeno se une de forma covalente a dos átomos de hidrógeno, el agua de la que dependen los seres vivos sigue un ciclo desde la precipitación hasta la interceptación, la infiltración o escorrentía superficial y la evaporación.

2.2.2. Ecosistemas acuáticos

Gabriel (1992) define por ecosistema a la unidad ecológica en la cual un grupo de organismos interactúa entre sí y con el ambiente, en este sentido, de forma general podría hablarse de dos tipos básicos de ecosistema: acuáticos y terrestres.

Gabriel (1992) nos dice que desde siempre, los ecosistemas acuáticos han estado influenciados por dos grandes grupos de factores: bióticos y abióticos. Los primeros se refieren a todas las interacciones entre los diferentes organismos del ecosistema, entradas, flujos de energía y zonas de ribera, mientras que los factores abióticos hacen referencia a variables climáticas, fisicoquímicos y biogeográficos que influencian el espacio en el cual se desenvuelven los organismos acuáticos.

2.2.3. Macroinvertebrados

Palma y Arana (2014) consideran como macroinvertebrados a todos los animales invertebrados que tienen un tamaño superior a 500u. Constituye un grupo dominante en los ríos, aunque también se localizan en la zona litoral y en el fondo de lagos y lagunas. Los macroinvertebrados que habitan en los ecosistemas fluviales están ampliamente representados por diferentes familias de moluscos y larvas de insectos, aunque dependiendo del tipo de río también pueden ser comunes los crustáceos, oligoquetos anélidos, nemátodos e hirudíneos.

2.2.4. Principios de la bioindicación

Zamora (1999) manifiesta que un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iníciales de un sistema

acuático provocarán una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación). Los efectos sobre la fauna acuática; cuando es sometida a la descarga de una sustancia tóxica, a medida que transcurre el tiempo; se pasa de respuestas individuales (bioquímicas y fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y ecosistémicas. Entonces un indicador biológico será aquel que logre soportar los efectos ocasionados por el elemento perturbante, es decir, que muestre algún tipo de respuesta compensatoria o tolerante. Estas respuestas significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico.

2.2.5. Los ríos altoandinos su importancia

Encalada et al (2011) indican que cerca del 27% de la superficie terrestre está cubierta por regiones montañosas, las cuales contienen reservas glaciares y de agua dulce que proveen servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas, y la diversidad ecosistémica y climática que surgen de sus gradientes altitudinales, los hacen únicos. Por otro lado, en ese contexto nacen los ríos altoandinos, que en su camino adoptan las características químicas de los terrenos que recorren, presentando una variabilidad regional dependiendo de la región o país en el que se encuentren y a las presiones y usos a los cuales están sometidos. Debido a la heterogeneidad de factores que influyen en su funcionamiento ecológico, los ríos altoandinos albergan muchas especies nuevas para la ciencia y su ecología e historia natural que son, aún, muy poco estudiadas, por lo cual su manejo y conservación demandan nuevas estrategias de gestión de estos ecosistemas.

Los ríos altoandinos son ecosistemas muy importantes debido a la diversidad y trascendencia de las funciones ecosistémicas que en ellos ocurren; además de caracterizarse por presentar un flujo rápido y turbulento, tener una alta oxigenación; y, por ser hábitat de una gran cantidad de organismos acuáticos, que son piezas

fundamentales para su funcionamiento, y por proveer agua a la población para fines económicos (agricultura, ganadería, industria) y de uso recreativo y doméstico (Encalada et al. 2011).

Contrastando con la elevada diversidad de ecosistemas andinos existentes y con la creciente explotación de sus recursos hídricos, los estudios de investigación básica y aplicada son sorprendentemente muy escasos, o bien, de restringida difusión tales como tesis, informes técnicos y estudios de impacto ambiental, que representan una extensa literatura gris, por lo que no ha sido recopilada ni analizada en conjunto (Acosta, Ríos, y Rieradevall, 2009)

2.2.6. Análisis biológicos

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a los terrestres. Los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva. (Bartram y Richard, 1996)

2.2.7. Bioindicadores

Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos sensibles que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como intolerantes, mientras que otros, que son tolerantes, no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar será ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizada por organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las

comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación. (Alba, Pardo, y Prat, 2015).

Peces, algas, protozoos y otros grupos de organismos han sido recomendados por el uso de valorar de la calidad de agua; pero los macroinvertebrados, son el grupo más frecuentemente usado (Hellawell, 2011).

Se puede enumerar las principales razones para su uso como indicadores biológicos: a) sensibilidad y rapidez en la reacción ante distintos contaminantes con una amplia gradación en la respuesta frente a un variado espectro de clases y grados de estrés. b) ubicuidad, abundancia y facilidad de muestreo. Tamaño adecuado para su determinación en laboratorio. c) carácter relativamente sedentario, reflejando las condiciones locales de un tramo fluvial. d) fases del ciclo de vida suficientemente largas como para ofrecer un registro de la calidad medioambiental. e) gran diversidad de grupos faunísticos con numerosas especies, entre las cuales siempre habrá alguna que reaccione ante un cambio ambiental. (De la Lanza y Hernández , 2011)

2.2.8. Macroinvertebrados bentónicos

El conocimiento de las características y abundancia de los organismos bentónicos en un sistema acuático es fundamental para ser relacionados con las condiciones del medio. Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en zonas tropicales son muy similares a las comunidades de zonas templadas. El grupo más grande de los macroinvertebrados acuáticos en aguas continentales son los insectos, los cuales son valiosos indicadores, considerados los más diversos en contraste con los peces e insectos terrestres (De la Lanza y Hernández, 2011).

De todos los organismos que se encuentran dentro de un sistema acuático, los macroinvertebrados bentónicos, ofrecen ventajas para ser usados como indicadores de contaminación; ya que: a) se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que

favorecen los estudios comparativos. b) su naturaleza sedentaria, permite un análisis espacial efectivo de los efectos de las perturbaciones. c) presenta ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras que pueden ser realizados con equipos simples. d) la taxonomía de muchos grupos es ampliamente conocida. e) existen numerosos métodos para el análisis de datos, como índices bióticos y de diversidad (Alba, Pardo, y Prat, 2015).

2.2.9. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos

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 que 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 en 17 dejando atrás nutrientes que son aprovechados por plantas acuáticas y otros organismos que pertenecen a la cadena. (Roldán, 1988).

2.2.10. Importancia de los indicadores biológicos

Zamora (1999) manifiesta que el uso de bioindicadores para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas. Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan, es decir, las comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes, que en determinado momento un muestreo de variables químicas o físicas pasan por alto, la vigilancia biológica evita la determinación regular de un número excesivo de parámetros químicos y físicos, en los organismos se sintetizan o confluyen muchos de estas variables, Los indicadores biológicos permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos o

insospechados, puesto que muchas sustancias se acumulan en el cuerpo de ciertos organismos; su concentración, en esos indicadores puede reflejar el nivel de contaminación ambiental y como no es posible tomar muestras de toda la biota acuática, la selección de algunos pocas indicadoras, simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema, a la vez que se obtiene solo la información pertinente, desechando un cúmulo de datos difícil de manejar e interpretar.

2.2.11. Principales macroinvertebrados

De la Lanza y Hernández (2011) señalan que los insectos acuáticos se pueden utilizar a distintas escalas dentro del monitoreo biológico, que, de acuerdo con el tipo de análisis, permite llegar a conclusiones o destinos que establezcan la calidad del agua; éstos se clasifican de la siguiente manera:

2.2.11.1. Orden Coleóptera

Linneo asignó el término coleópteros, el que deriva de koleos=vaina pteron=ala, y significa: "alas envainadas". Por lo tanto, el carácter principal del orden lo constituye el primer par de alas denominadas élitros, dispuestas de forma tal que, en reposo, cubren por completo al segundo par, de naturaleza membranosa, como si fueran verdaderos estuches o vainas. Es el orden más numeroso de los insectos, y según muchos autores de todo el reino animal e incluso de todo el conjunto de los seres vivos. Prácticamente todos los ambientes son habitados por los coleópteros. Se describieron más de 370.000 especies.

2.2.11.2. Orden Díptera

Los dípteros, que en sentido muy amplio, incluyen a las “moscas” y “mosquitos”, se caracterizan, dentro de los insectos, por tener solo un par de alas, de ahí el origen de su nombre (di = dos, ptera = ala). Sin embargo, esta característica no es exclusiva de ellos, pues existen otras

especies de insectos, muy pocas, que también presentan dos alas (por ejemplo, algunas efímeras y unos pocos homópteros). Además, por otro lado, también existen dípteros ápteros, es decir, sin alas. En consecuencia, esta característica falla en unas cuantas especies.

2.2.11.3. Orden Odonata

Las libélulas son insectos hemimetábolos, esto es, que presentan larvas y adultos diferentes, acuáticas las primeras y voladores los segundos, que no necesitan pasar por una fase de pupa durante la metamorfosis. Las larvas, inconfundibles, suelen ser alargadas, con seis patas, y presentan unas piezas bucales modificadas (el labio inferior) similares a un brazo articulado con unas pinzas en el extremo, que recibe el nombre de máscara.

2.2.11.4. Orden Plecóptera

Los plecópteros son un orden de insectos neópteros y exopterigotas, con ninfas acuáticas y adultos terrestres (salvo contadas excepciones en la fauna de otros continentes). Constituyen un grupo muy importante, tanto numéricamente como por las funciones ecológicas que desempeñan, en las aguas continentales, especialmente en los medios fluviales. Los plecópteros se identifican por una combinación de caracteres ancestrales, ya que presentan pocos caracteres derivados (de tipo anatómico) que definan al grupo.

2.2.11.5. Orden Ephemeróptera

Conocidos con los términos castellanos de: “Efímeras”, “Efémeras” o “Cachipollas”, el orden de la Ephemeróptera está formado por un pequeño grupo de insectos pterigotas hemimetábolos, que tradicionalmente se han reunido, junto con los Odonatos, dentro de los Paleópteros. Considerándose a estos últimos como un

grupo hermano de los Neópteros (el resto de los insectos con alas). Sin embargo, recientemente, la existencia en la Ephemeróptera de caracteres únicos (tales como la presencia de un estado subimaginal, la no funcionalidad de las piezas bucales del adulto, y ciertas características de las alas y sus articulaciones, junto con algunos datos de anatomía interna) ha hecho que se les considere un grupo independiente, hermano de los Odonatos y Neópteros.

2.2.11.6. Orden Trichóptera

Los Trichópteros o Friganéas (Trichóptera, del griego trichos, "pelo" y pteron, "ala") son artrópodos de la clase Insecta cuyos adultos portan alas cubiertas de pilosidad. Casi todas sus especies dependen del medio acuático para su desarrollo. La mayoría habita en ríos y arroyos de aguas limpias y bien oxigenadas, aunque también se pueden encontrar en ambientes lénticos, terrestres e incluso marinos. Forman un grupo natural y están cercanamente emparentados con las mariposas y polillas (Lepidoptera), que tienen escamas en sus alas y, como ellos, son capaces de producir seda. Ambos forman el superorden Amphiesmenoptera. De hecho, el grupo es sobre todo conocido por la habilidad de sus larvas para fabricar, con seda y diversos materiales, una gran variedad de construcciones como estuches portátiles refugios fijos, redes para la recogida de alimento y galerías, por lo que también se les ha denominado “arquitectos subacuáticos”.

2.2.12. Parámetros fisicoquímicos

Los métodos fisicoquímicos ayudan a conocer con precisión el tipo de contaminante vertido en detalle. Neumann et al, citado por Leiva (2004), afirma que las principales desventajas de determinar la calidad de agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos radican, en parte, en el costo elevado. La información proporcionada

por estos análisis es puntual y transitoria. Según (Roldan, 1988), los parámetros, a los cuales son más sensibles los organismos, son a menudo el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura.

2.2.12.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Según Prieto (2004) el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad, sino que la determinación del pH en el agua. Es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad. Un pH menor de 7 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un pH mayor de 7 muestra una tendencia hacia la alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH muy ácido o alcalino puede indicar contaminación industrial.

2.2.12.2. Conductividad eléctrica

Es la capacidad de una solución acuosa de conducir una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad y valencia; y la temperatura de las medidas. Las soluciones de los compuestos orgánicos por lo general son buenos conductores y las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas poco o nada contribuyen con flujo de corriente (Chapman, 1996).

2.2.12.3. El oxígeno disuelto (OD)

Es la cantidad de oxígeno en el agua, el cual es esencial para los riachuelos y lagos saludables; puede ser un indicador de cuán

contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Este indicador depende de la temperatura, puesto que el agua más fría puede guardar más oxígeno en ella, que el agua más caliente. Los niveles típicamente pueden variar de 0-18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5-6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. (Lenntech, 2007). Por otro lado, numerosos estudios científicos sugieren que 4-5 ppm de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportará una gran y diversa población acuática.

2.2.13. Indice Ephemeróptera - Plecóptera - Trichóptera (EPT):

Se refiere a la presencia o ausencia de los órdenes Ephemeróptera, Plecóptera y Trichóptera en una comunidad biológica. En general, las especies de estos grupos de insectos son sensibles a las perturbaciones humanas (Alfonso & Camargo, 2005), de aquí su uso como indicadores en el cálculo del índice.

De acuerdo con él (Instituto Mi Rio Universidad de Antioquia, 2011) , este índice corresponde a un valor determinado por tres grupos taxonómicos muy sensibles a la contaminación y que por lo general son indicadores de aguas limpias. El análisis EPT se realizó mediante la utilización de estos tres grupos de macroinvertebrados (Ephemeróptera, Plecóptera y Trichóptera) que son indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Se obtiene contando el número de taxa de

estas órdenes presentes en la muestra. El valor obtenido se compara en un cuadro de calidad de agua (Klemm et al. 1990) (Tabla 4).

El resultado obtenido se compara con los siguientes valores y se determina la calidad del agua.

Tabla 1: Escala de valores del Índice Ephemeróptera, Plecóptera, Trichóptera.

Escala de Valores del Índice EPT.	
EPT (%)	CALIDAD DEL AGUA
75 – 100	Muy buena
50 - 74	Buena
25 – 49	Regular
0 – 24	Mala

2.2.14. Índices bióticos

Alba, Pardo y Prat (2015) manifiestan que son herramientas de valoración de la calidad basada en las diferentes respuestas de los organismos a las alteraciones del medio. La mayoría de los índices bióticos se han elaborado para usarlos en un área geográfica concreta y posteriormente se han adaptado a otras zonas adecuando la lista de taxones y valores de sensibilidad.

Entre los índices bióticos más utilizados cabe citar los siguientes: TBI (Trent biotic Index; Woodiwis, 1964); EBI (Extended Biotic Index) (Woodiwis, 1978); BS (Biotic Score; Chandler, 1970), BMWP (Biological Monitoring Working Party) y ASPT (Average Score per Taxon) (National Water Council, 1981; Armitage et al, 1983) desarrollados para los ríos de Gran Bretaña; el índice VeT (Verneaux y Tuffery, 1967) para los ríos de Francia; IBE (Indice biotico Esteso; Ghetti y Bonazzi, 1981; Ghetti, 1997) para los ríos italianos; BBI (Belgian Biotic Index, De Pauw y Vanhooren, 1983) para los ríos de Bélgica.

2.2.15. Indices de Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Éste es un índice de fácil utilización y de aplicabilidad, las familias de los macroinvertebrados acuáticos se ordenan en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia se le hace corresponder una puntuación que oscila entre 10 y 1. Con este sistema de puntuación es posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo. (Alba, 1996). Sin embargo, no permite emitir juicios respecto de la situación de calidad.

Tabla 2: Valores del índice de BMWP, según los rangos de calidad (Prat et al.2000)

Calificación	Valores	Color	Calidad Biológica
Aguas muy limpias	≥100	Azul	Bueno
Aguas con signos de estrés	61 - 100	Verde	Aceptable
Aguas contaminadas	36 - 60	Amarillo	Regular
Aguas muy contaminadas	16 - 35	Naranja	Malo
Aguas extremadamente contaminadas	≤15	Rojo	Pésimo

2.2.16. Índice Biótico Andino (ABI)

La principal ventaja de utilizar el índice ABI es que permite utilizar a los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua, a partir de información taxonómica a nivel de familia y es específico para las zonas andinas (> 2 000 msnm). Además, la metodología requiere solo de datos cualitativos, (presencia o ausencia de familias), lo que hace de ella una alternativa económica, sencilla y que requiera de poca inversión de tiempo (Roldan, 2003). Suelen ser específicos

para un tipo de contaminación y/o región geográfica, y se basan en el concepto de los organismos indicadores.

Tabla 3: Clases de estado ecológico según ABI en el Perú.

Rangos	Estado Ecológico	Color
>74	Muy bueno	Azul
45 - 74	Bueno	Verde
27 - 44	Moderado	Amarillo
<27	Malo	Anaranjado
<11	Pésimo	Rojo

2.2.17. Estructura de la comunidad.

Steve (2011) señala en relación con la estructura de la comunidad**:**

Las diferentes comunidades ecológicas pueden ser muy diferentes en términos del tipo y número de especies que las componen. Por ejemplo, algunas comunidades del Ártico tienen solo unas cuantas especies, mientras que las de algunas selvas tienen enormes cantidades de especies en cada metro cúbico.

Una forma de describir esta diferencia, es porque las comunidades tienen estructuras diferentes. Esencialmente, se diferencia en la estructura de la comunidad que está compuesto por un número de especies como sus porcentajes. En una interpretación más amplia se pueden incluir también los patrones de interacción entre las distintas especies. Hay dos medidas importantes que usan los ecólogos para describir la composición de una comunidad: la riqueza y la diversidad de especies La riqueza de especies es el número de especies diferentes en una comunidad particular.

Las comunidades, con la mayor riqueza de especies tienden a estar en áreas cercanas al ecuador, las cuales tienen una gran cantidad de energía solar (que mantiene una alta productividad primaria), temperaturas cálidas, grandes cantidades de lluvia y pocos cambios estacionales. Las comunidades con la menor riqueza de especies se encuentran cerca de los polos, obtienen poca energía solar, son más frías, secas y menos propicias para la vida. Este patrón se ilustra abajo para la riqueza de especies de mamíferos (riqueza de especies calculada solo para los mamíferos). Además de la latitud, hay muchos otros factores que también pueden afectar la riqueza de especies de una comunidad.

La diversidad de especies es una medida de la complejidad de una comunidad. Es una función tanto del número de especies diferentes (riqueza de especies) como de sus abundancias relativas (uniformidad de especies). Un mayor número de especies y una abundancia más uniforme de las mismas resultan en una mayor diversidad de especies.

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos fue analizada a través del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y del índice de equidad de Pielou (J'). Ambos índices fueron calculados mediante el software estadístico Past.

2.2.18. Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')

El índice de diversidad de Shannon-Wiener 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 (Moreno, 2001). Se determinó según la siguiente fórmula:

$$\mathbf{H^i = \sum (p_i)(Log_n pi)}$$

Dónde: H': índice de diversidad de Shannon-Wiener

S: número de especies

pi: abundancia proporcional de la especie “i” (ni/N)

2.2.19. Métricas de bioindicación

2.2.19.1. Diversidad de Shannon-Wiener (H’)

El índice de diversidad de Shannon-Wiener permite enfocarse en los cambios de los patrones de riqueza y abundancia de especies como una manera de evaluar el impacto de los diferentes tipos de perturbaciones ambientales sobre las

Tabla 4: Esquema de clasificación de la calidad del agua de acuerdo con los valores del índice de Shannon-Wiener (H’) (Segnini, 2014)

H' (Log_n)	Calidad del agua
>3	Limpia
1 - 3	Moderadamente polucionada
< 1	Fuertemente polucionada

2.2.20. Estándares de calidad del agua

El estándar de calidad ambiental es legalmente “la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente”. De manera específica y conforme se señala líneas adelante, el ECA de agua es una unidad de medida para determinar el uso que puede darse a un cuerpo de agua en función a la calidad que presenta, ya sea por sus valores naturales o por la carga contaminante a la que pueda estar expuesta. Un ECA no es un valor de medición para una emisión o efluente. Así, en el caso de una autorización de vertimiento, ésta autoriza el

vertimiento de manera tal que no se exceda el ECA, que está predeterminado en función del uso del agua. (MINAM, 2015) para la categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales para el oxígeno disuelto establece valores ≥ 4 mg/l, para el pH 6.5 -8.5 unidades de pH, conductividad eléctrica ≤2000 µS/cm.

2.3. Definición de términos básicos

A. Índice biótico

Muestra la sensibilidad o tolerancia de un grupo o grupos de especies a la contaminación, y se les asigna un valor tal que, sumando todos ellos, se obtiene una indicación del grado de contaminación de un cuerpo de agua. (Mason, 1984)

B. Indicadores biológicos

Fauna de invertebrados, fauna piscícola, plancton y flora acuática. Es un organismo, acuático en este caso, que por su mera presencia o mayor o menor abundancia nos indica alguna condición del ecosistema acuático, como el grado de contaminación. (Ladrera, Rieradevall y Prat, 2013).

C. Indicadores morfológicos

Régimen de caudales, conexión con aguas subterráneas, continuidad (tanto para movimientos de fauna como para transporte de sedimentos), condiciones morfológicas (relaciones de anchuras, profundidades, ribera) (Navarra, 2019)

D. Indicadores químicos:

Indicadores generales (temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes…) y contaminantes específicos. (Navarra, 2019)

E. Bentos

Comunidad animal y vegetal que habita asociado a los sustratos sumergidos. Es una comunidad que comprende tanto animales invertebrados como vertebrados, y está caracterizada por habitar el

sedimento acuático (fondo) y su superficie. Las respuestas de estas comunidades a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar posibles impactos. (Palma y Arana, 2014)

F. Hábitat.

Lugar donde habita un organismo (planta o animal) y que está caracterizado por unos factores ambientales determinados (velocidad de agua tipo de sustrato, temperatura etc.). (Ladrera, Rieradevall y Prat, 2013)

G. Oxígeno disuelto

Es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua superficial, su presencia en el agua se debe al aporte de oxígeno de la atmosfera y de la actividad biológica (Castro, 2018)

H. Calidad fisicoquímica

Está dada por los parámetros físicos (olor, sabor, color, temperatura, etc.) y químicos (alcalinidad, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, cloruros, alcalinidad, etc.) del agua. (Castro, 2018)

I. Calidad biológica

Capacidad de los ecosistemas acuáticos para mantener comunidades biológicas en dichos ecosistemas. Este parámetro, puede estimarse al estudiar la estructura de las comunidades. (Palomino, 2015)

J. Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados son los invertebrados de un tamaño relativamente grande (visibles al ojo humano), mayores a 0,5 mm y comprenden principalmente artrópodos (insectos, arácnidos y crustáceos). (Palomino, 2015)

K. Índices de calidad ambiental

Mediante los índices se obtiene un valor numérico que expresa el efecto de la contaminación sobre una comunidad biológica y se basa en la capacidad de los organismos de reflejar las características o condiciones ambientales del medio en el que se encuentran. La presencia o ausencia de una especie o familia, así como su densidad o abundancia; es lo que se va a usar como indicador de la calidad. (Palomino, 2015)

L. Índices bióticos

Suelen ser específicos para un tipo de contaminación, región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello, a los grupos de macroinvertebrados de una muestra, se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor numérico mayor, la suma de todos estos valores nos indica la calidad de ese ecosistema. (Palomino, 2015)

M. Índice biótico de familia (IBF)

Este índice es muy útil en el análisis de la calidad del agua y de fácil cálculo, debido a que necesita la identificación solo a nivel de familia. (Palomino, 2015)

N. Índice Ephemeróptera, Plecóptera y Trichóptera (EPT)

El índice EPT se realiza mediante la utilización de tres grupos de macroinvertebrados (Ephemeróptera-Plecóptera-Trichóptera), debido a que son más sensibles a la contaminación. (Palomino, 2015)

O. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Se basa en la asignación, a las familias de macroinvertebrados acuáticos, de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores obtenidos para cada familia detectada en un punto, nos dará el grado de contaminación del punto estudiado. (Palomino, 2015)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra adyacente al centro poblado de Macashca que se encuentra ubicado geográficamente en la parte media y alta de la subcuenca del río Pariac, cuenca hidrográfica del río Santa, provincia fisiográfica: sierra; y, flanco occidental de la Cordillera Blanca, extendiéndose desde los 3250 m.s.n.m., altitud inferior y los 6369 m.s.n.m. máxima altitud en la cumbre del nevado Tumsho y entre las coordenadas geográficas 09º 29´ 47” y 09º 35´14” Latitud Sur y 77º 18´ 12” y 77º 31´ 05 Longitud Oeste. Política y administrativamente pertenece a la jurisdicción del distrito y provincia de Huaraz, departamento de Ancash. Los cuales se visualizan a mayor detalle en el anexo 01 (mapa de ubicación).

3.2. Tipo de investigación

Según la finalidad que persigue, es básica, porque va a generar información acerca de la calidad del agua de la subcuenca del rio Pariac.

Según el nivel o alcance es descriptiva, porque busca observar y describir el comportamiento de la subcuenca del rio Pariac., sin influir sobre él de ninguna manera.

Según la temporalidad es longitudinal de tendencia, porque estudia el cuerpo de agua en distintos periodos de tiempo, en la misma población, pero en distintos puntos de muestreo.

3.3. Diseño de investigación

El diagrama del diseño de investigación se encuentra en la página N° 29

3.1. Población y muestra

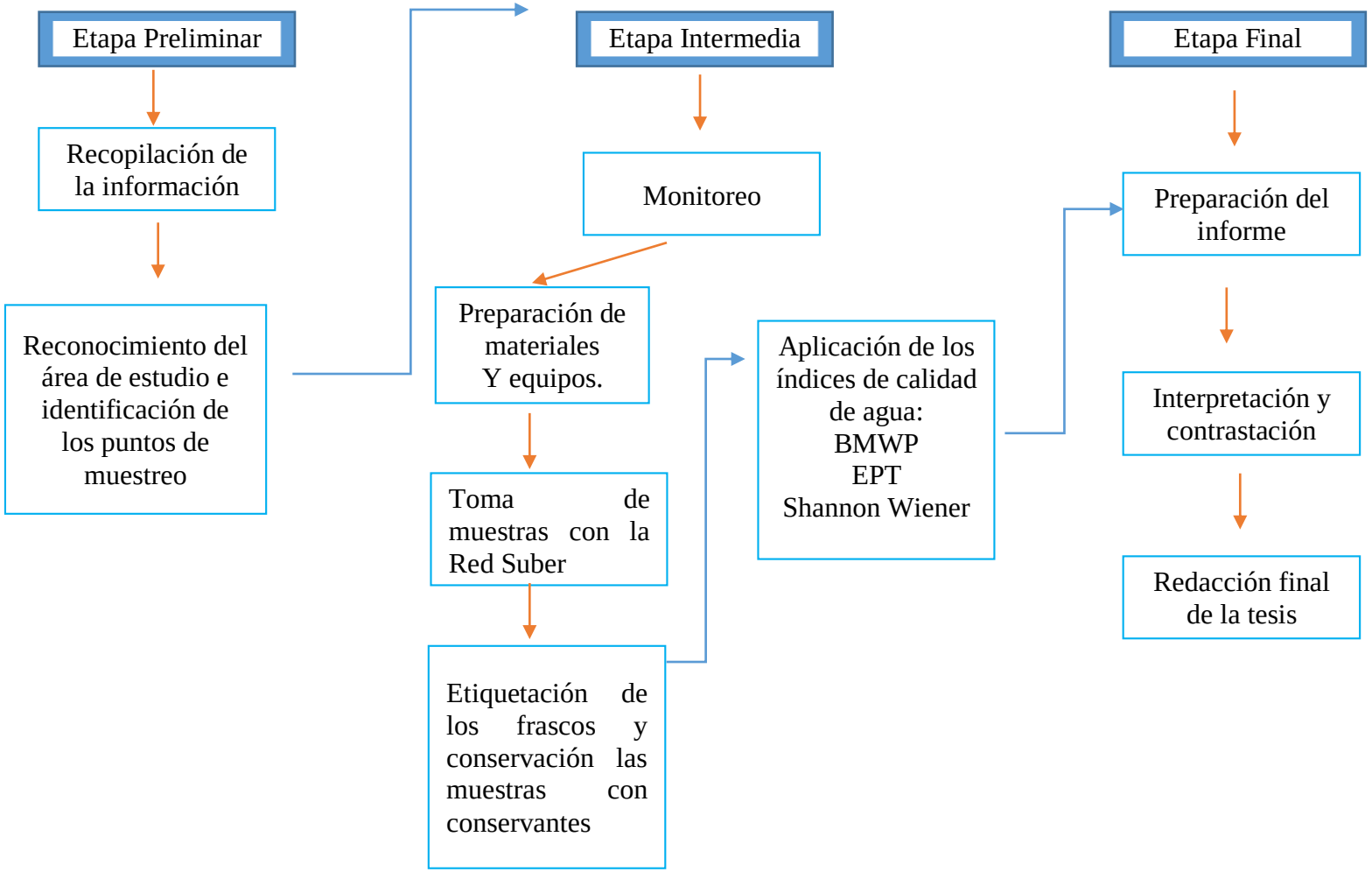
3.1.1. Población

La población para realizar la identificación de los macroinvertebrados bentónicos acuáticos, y determinar la calidad de las aguas estuvo constituido por la subcuenca del río Pariac que tiene una superficie aproximada de 21 Km^2 y un área húmeda de 1,298 km2, con una altura media desde los 3250 m.s.n.m., altitud inferior y una altitud superior a los 6369 m.s.n.m.

3.1.2. Muestra

Agua correspondiente a los puntos de muestreo seleccionados para el monitoreo de los macroinvertebrados y para determinar las características fisicoquímicas.

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUB CUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019



Para determinar los puntos de muestreo se tuvo en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

a. Presencia de afluentes tributarios en el rio Tambillo
b. Zona de cabecera y zona final de la subcuenca del sector Tambillo, con la finalidad de comparar la calidad del agua.
c. Actividad antropogénica determinante en el proceso de contaminación de las aguas.

3.1.3. Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo de la subcuenca Pariac

En la figura 2, se observa la ubicación de las estaciones de muestreo a lo largo de la subcuenca Pariac.

Punto de muestreo 1: Localizado aproximadamente a 50 metros agua debajo de la laguna, presenta una corriente alta, con alta presencia de vegetación a los márgenes, abundante materia orgánica, zona de pastoreo entre las coordenadas geográficas. (Anexos N° 01, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08)

- UTM: X 242 027 - Y8 946 172
- Altitud: 4245 m.s.n.m

Punto de muestreo 2: Localizado aguas abajo del primer tributario, es una zona plana de abundante cobertura vegetal, zona de pastoreo. Este punto presenta un fácil acceso, siguiendo el camino de herradura hacia la laguna. Presenta una corriente media, no hay presencia de piedras y gravas. Este punto fue seleccionado por tener influencia del sobrepastoreo y cobertura vegetal, entre las coordenadas geográficas. (Anexos N° 01, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08)

- UTM: X 238502 – Y 8944096
- Altitud 4170 msnm.

Punto de muestreo 3: Localizado a la salida de los dominios del Parque Nacional Huascarán. Es de una corriente media, con presencia de vegetación predominante de pastos nativos como el *Stipa ichu*, además de grama a los márgenes, hay presencia de piedras y gravas. (Anexos N° 01, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08)

- UTM: X 234269 – Y 8942508
- Altitud 3926 msnm.

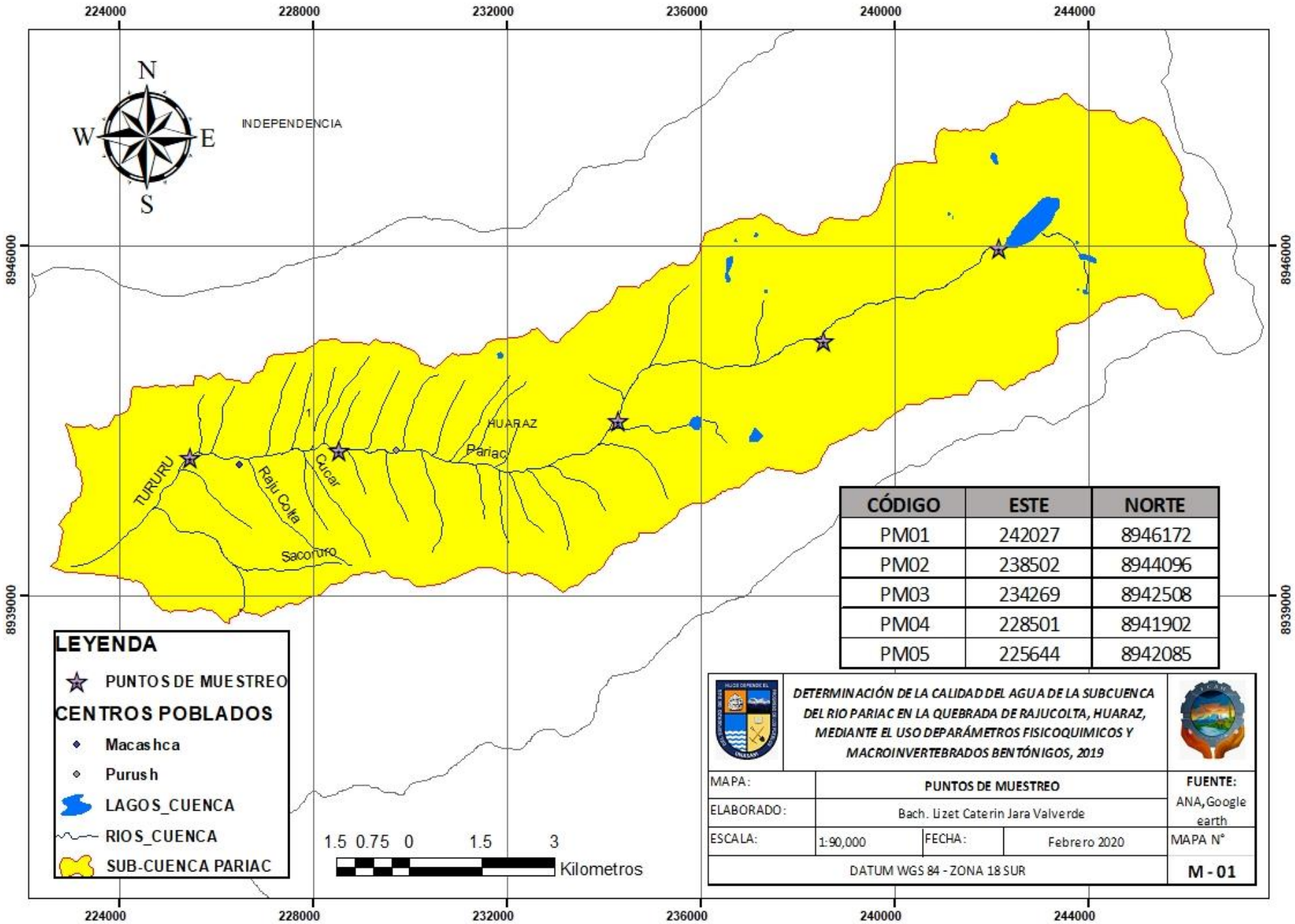
Punto de muestreo 4: Localizado en el cruce del sector de Purush – Macashca, después de la captación para la hidroeléctrica, hay presencia de vegetación como el eucalipto, la corriente es baja, hay presencia de piedras y gravas, entre las coordenadas geográficas. (Anexos N° 01, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08)

- UTM: X 228501 – Y 8941902
- Altitud 3503 msnm.

Punto de muestreo 5: Localizado aguas abajo del centro poblado de Purush y Macashca, hay presencia de vegetación como el eucalipto, la corriente es baja, hay presencia de piedras y gravas, hay contaminación por los vertimientos de aguas residuales, entre las coordenadas geográficas. (Anexos N° 01, N° 05, N° 06, N° 07, N° 08)

- UTM: X 225644 – Y 8942085
- Altitud 3442 msnm.

Figura 1: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de la zona de estudio



CÓDIGO	ESTE	NORTE
PM01	242027	8946172
PM02	238502	8944096
PM03	234269	8942508
PM04	228501	8941902
PM05	225644	8942085

3.1.4. Unidad de Muestreo

Macroinvertebrados acuáticos presentes en la subcuenca del rio Pariac, así como las muestras de agua que se tomarán en esta zona

3.2. Métodos y técnicas

Para determinar la calidad del agua usando los índices BMWP, ABI, EPT, Shannon- Wiener se procedió con la siguiente metodología. (Anexo N° 02)

Se recolectaron los macroinvertebrados bentónicos en la orilla de los sistemas acuáticos durante dos minutos con la ayuda de una red SURBER.

Figura 2: Recolección de macroinvertebrados en la zona de muestreo

Estos se colocaron en una bandeja con agua, durante 20 minutos, se recolectaron todos los individuos de la bandeja y se colocaron en frascos etiquetados con alcohol al 70%.

Figura 3: Separación de los macroinvertebrados recolectados

Se trasladaron posteriormente al Laboratorio de Calidad Ambiental, para su correspondiente identificación. Cada individuo se identificó y clasificó hasta el nivel taxonómico de familia con la ayuda de claves taxonómicas.

Figura 4: Identificación de los macroinvertebrados en el laboratorio.

Para la caracterización fisicoquímica del agua se midieron in situ las siguientes variables de temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, mediante un medidor multiparámetros.

Figura 5: Proceso de medición con el uso del multiparametro.

Se calculó la abundancia de cada grupo taxonómico y la abundancia total en cada punto de muestreo. Los índices BMWP, IB, se calcularon de acuerdo con las tablas N◦ 2, 3 respectivamente. La diversidad se estimó mediante el índice de Shannon, por medio de los programas PAST (Paleontological Statistics) 3.0. Los valores de los índices sirven para observar la estructura de la comunidad.

En el laboratorio se procedió a la identificación de las muestras con ayuda de las claves taxonómicas para luego clasificarlos en función a su sensibilidad.

Tabla 5: *Niveles de sensibilidad de las familias de macroinvertebrados a la contaminación.*

Familias	**Puntaje**	
Oligoneuriidae, Gripopterygidae, Perlidae, Odontoceridae, Psephenidae, Athericidae, Blephariceridae	10	Más Sensible
Calamoceratidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae, Xiphocentronidae, Ptilodactylidae, Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Polymitarcydae	9	
Helicopsychidae, Psychomyiidae, Glossosomatidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Simuliidae, Gomphidae, Polythoridae, Megapodagrionidae	8	
Leptohyphidae, Hydraenidae, Scirtidae, Corydalidae, Calopterygidae, Limnephilidae, Hydroptilidae	7	
Aeshnidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Ancylidae, Corixidae, Naucoridae, Notonectidae, Mesoveliidae, Hebridae, Dixidae, Psychodidae, Dryopidae, Lutrochidae	6	Sensibilidad a la contaminación
Elmidae, Staphylinidae, Dytiscidae, Noteridae, Pyralidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Belostomatidae, Gerridae, Nepidae, Veliidae, Hydrobiidae, Ampullariidae	5	
Caenidae, Hydrophilidae, Haliplidae, Heteroceridae, Baetidae, Elmidae, Staphylinidae, Dytiscidae, Noteridae, Pyralidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Belostomatidae, Gerridae, Nepidae, Veliidae, Hydrobiidae, Ampullariidae	4	
Lymnaeidae, Aeglidae, Palaemonidae, Sphaeriidae, Amphipoda, Ostracoda, Planariidae, Nematoda	3	
Muscidae, Glossiphoniidae		
Chironomidae, Culicidae, Ephydridae, Hyriidae	2	
Oligochaeta	1	Más Tolerante

4.1 Índice BMWP

El índice BMWP (Hellawell, 1978; Armitage et al., 1983) es uno de los índices bióticos más conocidos y utilizados para los estudios de macroinvertebrados. Se basa en la asignación de las familias de macroinvertebrados acuáticos de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). La suma de los valores obtenidos para cada familia detectada en un punto de muestreo determinado dará el grado de contaminación del punto estudiado. Valores más altos del índice indican, generalmente, calidades de aguas mejores.

4.2 Índice biótico andino

De los resultados obtenidos y clasificados en base a su sensibilidad se determina que cada familia tiene un valor (10 = sensible; 1 = tolerante) La suma total de puntajes indica la calidad de agua, la cual se representa mediante colores

4.3. Análisis del Índice Ephemeróptera – Plecóptera - Trichóptera (EPT)

Este análisis se hace mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes.

Estos grupos son: Ephemeróptera o moscas de mayo, Plecóptera o moscas de piedra y Trichóptera.

Se trabajó con una hoja de campo para el análisis EPT identificando los grupos presentes en cada área, se anotó en la columna de abundancia de individuos de la Hoja de Campo 1, la cantidad de macroinvertebrados frente al grupo que corresponda. Si algún grupo no corresponde a ninguno de los grupos que constan en la lista se registró el número de individuos frente a la fila de otros grupos luego se procedió a la suma de todos los números de la columna de abundancia de individuos y se anotó el resultado en el cuadro de Total.

Los datos registrados en la columna de abundancia pertenecientes a los EPT se registraron en la columna siguiente luego se efectuó la suma y ese producto se dividió con el total de la abundancia y se multiplicó por cien para obtener el valor, del índice de EPT

Tabla 6: Registro de EPT para obtener el índice correspondiente.

Hoja de campo 1: EPT Punto de muestreo: 1-2-3-4-5 Nombre del río: Fecha de colección: Personas que colectaron:		Índice
Clasificación	Abundancia (Número de individuos)	EPT Presentes
Anisóptera		
Bivalvia		
Baetidae		→
Leptophlebilidae		
Empididae		
Chironomidae		→
Oligochaeta		
Gripopterydae		→
Tabanidae		
Total		
EPT TOTAL ÷ ABUNDANCIA TOTAL(AT)	Abundancia Total	**EPT÷AT= a** **a X 100 = %**

Calidad de agua	
75 – 100 %	Muy Buena
50 - 74 %	Buena
25 – 49 %	Regular

4.4 Tratamiento estadístico

Se hizo el análisis de correlación de los parámetros fisicoquímicos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

De la investigación desarrollada se ha tenido los siguientes resultados:

4.1 Determinación de la calidad del agua usando los índices BMWP, el índice de biodiversidad Andina (IBA), índice EPT, y el índice de Shannon y Wiener.

En la tabla Nº 7 se registran el orden y la familia a la que pertenecen los macroinvertebrados, así como los puntos de monitoreo, con la respectiva calificación ABI, y su abundancia respectiva.

El punto de monitoreo 3 reporta una mayor abundancia, y en el punto 5 una mayor riqueza de especies del orden Ephemeróptera con la familia Baetidae que son las más abundantes. (Anexo N° 04)

Tabla 7: Calificación del Índice Biotico Andino a partir de las familias de los macroinvertebrados en los diferentes puntos de muestreo.

Orden	Familia	M1	Calificacion ABI	M-2	Calificacion ABI	M-3	Calificacion ABI	M-4	Calificacion ABI	M-5	Calificacion ABI	Total
Ephemeróptera	Baetidae			38	4	73	4					119
Díptera	Blepharopceridae			4	10	4	10					28
Díptera	Cerotopogonidae	6	4					12	4			26
Díptera	Chironomidae	22	2					12	2	18	2	58
Díptera	Dolichopidae	3	4							6	4	17
Coleóptera	Elmidae	3	5			4	5	4	5	11	5	42
Díptera	Psychodidae	3	3							8	3	17
Díptera	Stratiomidae							3	4	6	4	17
Odonata	Libelluidae	12	8	17	8			7	8			60
Trichóptera	Helicopsychidae					12	10					22
Plecóptera	Gripoterygidae			16	10	21	10					57
Amphipoda	Hyalellidae	4	6			2	6					18
Hydracarina	Hydracarina							6	4	8	4	22
trichóptera	Hydrobiosidae			23	8			21	8	9	8	77
Hirudinea	Hirudinea	12	3									15
trichóptera	Hydrophsychidae			31	5			23	5			64
trichóptera	Hydroptilidae					13	6	12	6			37
trichóptera	Leptoceridae			12	10	34	10					66
Ephemeróptera	Leptophlebiidae,			7	10	5	10					32
trichóptera	Limnephilidae			4	7	3	7	3	7			31
Heteróptera	Gerridae					23	5			21	5	54
Díptera	Shaeridae	9	3							7	3	22
trichóptera	Odontoceridae			17	10							27
Oligochaeta	Oligochaeta	7	1							4	1	13
plecóptera	Perlidae			9	10	11	10					40
Tricladida	Planaridae									5	5	10
Díptera	Simulidae	11	5					21	5	11	5	58
Díptera	Stratiomyidae					11	4			9	4	28
Díptera	Tabanidae	12	4					5	4			25
Díptera	Tipulidae	8	5					7	5			25
Turbellaria	Turbellaria	4	5							9	5	23
trichóptera	Hydroptilidae			9	6	12	6			2	6	41
	Abundancia	116		187		228		136		134		
	Riqueza	14		12		14		13		15		
	ABI		58		98		88		65		64	

Tabla 8: Índice de Shannon-Wiener de los macroinvertebrados totales reportados.

Orden	Familia	Total	p_i	ln(pi)	pi*ln(pi)
Ephemeróptera	Baetidae	119	0.0999	-2.30343	-0.23014911
Díptera	Blepharopceridae	28	0.0235	-3.75034	-0.0881693
Díptera	Cerotopogonidae	26	0.0218	-3.82445	-0.0834893
Díptera	Chironomidae	58	0.0487	-3.02211	-0.14717223
Díptera	Dolichopidae	17	0.0143	-4.24934	-0.06065382
Coleóptera	Elmidae	42	0.0353	-3.34488	-0.11795543
Díptera	Psychodidae	17	0.0143	-4.24934	-0.06065382
Díptera	Stratiomidae	17	0.0143	-4.24934	-0.06065382
Odonata	Libelluidae	60	0.0504	-2.98820	-0.15053924
Trichóptera	Helicopsychidae	22	0.0185	-3.99151	-0.07373059
Plecóptera	Gripoterygidae	57	0.0479	-3.03950	-0.14546713
Amphipoda	Hyalellidae	18	0.0151	-4.19218	-0.06335784
Hydracarina	Hydracarina	22	0.0185	-3.99151	-0.07373059
Trichóptera	Hydrobiosidae	77	0.0647	-2.73874	-0.177064
Hirudinea	Hirudinea	15	0.0126	-4.37450	-0.05509444
Trichóptera	Hydrophsychidae	64	0.0537	-2.92367	-0.15710713
Trichóptera	Hydroptilidae	37	0.0311	-3.47163	-0.10785083
Trichóptera	Leptoceridae	66	0.0554	-2.89289	-0.1603115
Ephemeróptera	Leptophlebiidae,	32	0.0269	-3.61681	-0.09717717
Trichóptera	Limnephilidae	31	0.0260	-3.64856	-0.09496675
Heteróptera	Gerridae	54	0.0453	-3.09356	-0.14026237
Díptera	Shaeridae	22	0.0185	-3.99151	-0.07373059
Trichóptera	Odontoceridae	27	0.0227	-3.78671	-0.08584485
Oligochaeta	Oligochaeta	13	0.0109	-4.51760	-0.04931049
Plecóptera	Perlidae	40	0.0336	-3.39367	-0.11397713
Tricladida	Planaridae	10	0.0084	-4.77996	-0.04013403
Díptera	Simulidae	58	0.0487	-3.02211	-0.14717223
Díptera	Stratiomyidae	28	0.0235	-3.75034	-0.0881693
Díptera	Tabanidae	25	0.0210	-3.86367	-0.08110144
Díptera	Tipulidae	25	0.0210	-3.86367	-0.08110144
Turbellaria	Turbellaria	23	0.0193	-3.94705	-0.07622355
Trichóptera	Hydroptilidae	41	0.0344	-3.36898	-0.11597652
		1191		$H' = -\sum pi \ln pi$	3.29829796

El índice de Shannon y Wiener presentan un valor de 3.29, lo que indica que las aguas están moderadamente polucionadas de acuerdo con la tabla 4.

Con relación al índice EPT, se presentan los siguientes resultados en la siguiente tabla 9.

Tabla 9: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera presentes para el total de abundancia y su relación con la calidad de agua.

Orden	Familia	Abundancia	IEPT
Ephemeróptera	Baetidae	119	119
Díptera	Blepharopceridae	28	
Díptera	Cerotopogonidae	26	
Díptera	Chironomidae	58	
Díptera	Dolichopidae	17	
Coleóptera	Elmidae	42	
Díptera	Psychodidae	17	
Díptera	Stratiomidae	17	
Odonata	Libelluidae	60	
Trichóptera	Helicopsychidae	22	22
Plecóptera	Gripoterygidae	57	57
Amphipoda	Hyalellidae	18	
Hydracarina	Hydracarina	22	
Trichóptera	Hydrobiosidae	77	77
Hirudinea	Hirudinea	15	
Trichóptera	Hydrophsychidae	64	64
Trichóptera	Hydroptilidae	37	37
Trichóptera	Leptoceridae	66	66
Ephemeróptera	Leptophlebiidae,	32	32
Trichóptera	Limnephilidae	31	31
Heteróptera	Gerridae	54	
Díptera	Shaeridae	22	
Trichóptera	Odontoceridae	27	27
Oligochaeta	Oligochaeta	13	
Plecóptera	Perlidae	40	40
Tricladida	Planaridae	10	
Díptera	Simulidae	58	
Díptera	Stratiomyidae	28	
Díptera	Tabanidae	25	
Díptera	Tipulidae	25	
Turbellaria	Turbellaria	23	
Trichóptera	Hydroptilidae	41	41
	Abun.Total	1191	613
	EPT/AbunTotal	0.51469353 X 100 = 51.47%	

La calidad del agua registrada a través del índice EPT es buena de acuerdo a la escala de valores para EPT.

4.2 Relación de la diversidad de macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros evaluados fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto. (Anexo N° 04)

Tabla 10: Parámetros fisicoquímicos en los diferentes puntos de muestra.

Parámetros	M- 1	M- 2	M-3	M- 4	M- 5
Ph	5.21	6.56	6.94	7.22	7.9
Temperatura °C	10.7	12.3	14.3	14.9	15.5
Conduc. eléctrica µs/cm	57.7	49.4	41.5	39.5	38.2
Oxigeno dIsuelto mg/l	4.56	6.45	7.5	5.9	5.1

En la tabla en mención se observa los diferentes niveles de concentración de los parámetros reportados durante el estudio.

El tratamiento estadístico de los parámetros físico químicos se realizó usando el coeficiente de correlación de Pearson.

Tabla 11: Coeficiente de correlación entre los parámetros muestreados.

	T°	OD	CE	pH
pH	0.96139003	0.29223556	-0.96143192	
T°		0.29223556	-0.99454849	0.96139003
OD	0.30224246		-0.30095488	0.29223556
CE	-0.99454849	-0.30095488		-0.96143192

El grado de correlación entre el PH, Temperatura; se correlaciona de forma directa de modo muy bueno, entre la temperatura y la conductividad eléctrica; y pH y conductividad eléctrica es de forma indirecta con nivel de significancia alto.

4.3 Para la Estimación de la calidad del agua considerando la importancia de los macroinvertebrados como indicadores biológicos

Para cumplir el presente objetivo se procedió a valorar los índices BMWP, ABI, donde el estado ecológico de la calidad de las aguas fluctúa entre aguas de calidad regular y aguas de estado ecológico muy bueno.

Tabla 12: Calidad del agua a partir de los índices BMWP, ABI.

Puntos de Monitoreo	1	2	3	4	5
Número de Familias	14	12	14	13	15
BMWP	58	98	88	65	64
Significado	Aguas de calidad regular	Aguas de condición aceptable	Aguas de condición aceptable	Aguas de condición aceptable	Aguas de condición aceptable
ABI	58	98	88	65	64
Significado	Aguas de estado ecológico bueno	Aguas de estado ecológico muy bueno	Aguas de estado ecológico muy bueno	Aguas de estado ecológico bueno	Aguas de estado ecológico bueno

Con relación al índice Ephemeróptera – Plecóptera –Trichóptera las aguas son buenas de acuerdo con la Tabla Nº 10, de igual manera con relación al índice de Shannon y Wiener registran un valor de 3.2, lo que demuestra que el agua se encuentra ligeramente polucionada.

Los valores registrados para pH, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad eléctrica están en los márgenes establecidos en los Estándares de Calidad para agua MINAM. Para la categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales para el oxígeno disuelto establece valores ≥ 4 mg/l, para el pH 6.5 - 8.5 unidades de pH, conductividad eléctrica ≤2000 µS/cm.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La macrofauna encontrada es diversa. Las comunidades acuáticas son testigos del deterioro ambiental en especial los macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua. Debido a ello, un cambio en la estructura de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos puede reflejar que el sistema se está deteriorando. Adicionalmente, el tipo y variedad de los sustratos están relacionado con las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos. La vegetación ribereña se define como el conjunto de árboles, arbustos y hierbas que se desarrollan alrededor del cauce de un río, quebrada o lagunas. Estos ecotonos son muy importantes porque son zonas de alta biodiversidad y componentes ecológicos muy complejos por ser las zonas de transición entre lo acuático y lo terrestre, donde se presentan una alta variedad de microhábitats (Gutiérrez, 2009).

Dentro de nuestros objetivos planteados como es determinar la calidad del agua usando el índice de Biodiversidad Andina (IBA), índice EPT, y el índice de Shannon y Wiener podemos señalar que se colectaron 801 individuos

pertenecientes a 13 órdenes y 32 familias (Tabla 7). El mayor número de familias encontradas (11) pertenecen a la clase insecta orden Díptera.

Las familias con mayor población identificadas durante el estudio fueron Baetidae 119, Hydrobiosidae 77, Leptoceridae 66, la familia Chironomidae que es una de las familias más tolerantes a la calidad de agua, lo que se ubican en diferentes hábitats a lo largo de la subcuenca (Roldan, 2016)

Medina (2011), señala que los macroinvertebrados de la microcuenca Tablachaca, en el distrito de Pampas, en el 2014 están constituidos por 10 órdenes; distribuidos en 31 familias. La clase Insecta es el grupo más representativo, con 24 familias, coincidiendo con nuestro trabajo donde la familia díptera es la más numerosa.

Galloso y Yauri (2017) señalan que las familias de macroinvertebrados identificados con mayor abundancia en época de avenida (abril-2016) son las de Chironomidae con 291 individuos y en menor cantidad, la familia Limnephilidae con 01 individuo.

Cruz (2015) expresa que la contaminación por metales tiene una fuerte capacidad para estructurar las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, y que existen familias que se desarrollan bajo condiciones extremas para la vida como los Chironomidae, familia también reportada en nuestra investigación.

De acuerdo con el índice BMWP, reportamos en la Tabla11 aguas de calidad regular a aguas de calidad aceptable. Para el índice IBA se reportan aguas de índice de calidad ecológica bueno a muy bueno, probablemente el parámetro OD, es muy bueno a lo largo de la microcuenca ya que los valores están como promedio por encima ≥ 5 mg/l. (Vazquez & Medina, 2015) indican que la calidad del agua del río Tablachaca es aceptable, es necesario señalar que el oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua. El oxígeno libre es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos; por eso, desde siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un río para mantener la vida acuática. La concentración de este elemento es resultado del oxígeno que entra en el sistema y el que se consume por los organismos vivos. La entrada de oxígeno puede estar provocada por muchas fuentes, pero la principal es el oxígeno absorbido de la atmósfera. Este oxígeno se disuelve con facilidad hasta que el agua se satura. Una vez disuelto, se difunde lentamente y su distribución depende del movimiento del agua. Este proceso es natural y continuo, de modo que continuamente existe intercambio de oxígeno entre el agua y el aire. La dirección y

velocidad depende del contacto entre ambos. Un agua turbulenta, un torrente de montaña o un lago con oleaje tendrán mayor absorción ya que la superficie del agua está expuesta al aire. Las aguas estancadas retienen y absorben menos oxígeno. Las plantas también juegan un papel fundamental, ya que durante el día captan dióxido de carbono convirtiéndolo en oxígeno. Podemos concluir con relación al oxígeno disuelto que es muy importante para los ecosistemas acuáticos, cuando su concentración es alta, es más probable que el entorno sea sano y estable, ya que permite mantener diversidad de organismos como es el caso de nuestra investigación, ya que el oxígeno es responsable de dos fenómenos indispensables, la respiración de los seres vivos, y la descomposición de la materia orgánica cuando muere. Esta descomposición se realiza a través del oxígeno en sí mismo, gracias a su capacidad oxidante y mediante bacterias y hongos que necesitan oxígeno para consumir y degradar los desechos de los seres vivos.

Con relación al índice EPT, de acuerdo con la escala de valores EPT (Tabla 1), los resultados reportados en la (tabla 9), 51.47% se considera como buena. Así mismo (Muñoz, 2016), según la valoración del índice EPT, todas las campañas que se realizaron calificaron a río Grande con una calidad de agua moderadamente impactada.

En cuanto a los Ephemeróptera encontrados en la zona de estudio, el género Baetidae destacó como el más abundante sobre todo en grava y hoja retenida en la corriente, concordante a lo mencionado por Roldán (2012) quien señala que viven entre la vegetación, troncos y hojarasca; además encontró valores altos de abundancia de este género en hojas retenidas en la corriente. Esta gran abundancia podría estar relacionada a la alta disponibilidad de materia orgánica fina, procedente de la degradación de las hojas, estas partículas finas son el principal alimento de la familia Baetidae. De los Trichóptera, el género Hydrophsychidae fue el más abundante en el microhábitat de hoja retenida en la corriente, debido principalmente a que este género utiliza trozos de hojas tanto para su alimentación, así como para construir sus refugios transportables (De la Lanza y Hernández , 2011).

El índice de Shannon y Weiner de acuerdo con el cuadro de clasificación de la calidad del agua de acuerdo con los valores del índice de Shannon-Wiener (H') (Segnini, 2014) tabla 4, reporta en los resultados de la tabla 9 un valor de 3.29 considerada como moderadamente polucionada. Similares resultados reportan (García, 2016) lo que expresa que se encontró una mayor riqueza de taxa y abundancia de individuos en la época seca, ya que en esta época el caudal del río

es más estable. El índice de Shannon-Wiener (Ḣ) refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada una de ellas presentes en la muestra. Además, mide la uniformidad de la distribución de los individuos entre las especies (Moreno, 2001)

Las variables fisicoquímicas a las que los macroinvertebrados tienden a ser más sensibles son el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura (Roldan, 2003), por esta razón, la conductividad y el pH son dos de las medidas que más aportan acerca de la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático.

El pH de las aguas superficiales de los cuerpos de agua debe encontrarse en el intervalo de 6,5 a 8,5 unidades de pH según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3. Los valores medidos oscilaron entre 5.21 – 7.9 unidades de pH, como se observa en la tabla 10. Así mismo, el grado de correlación entre el pH y la temperatura; se correlaciona de forma directa de modo muy bueno, y entre la temperatura; pH y conductividad eléctrica, es de forma indirecta con nivel de significancia alto (Muñoz, 2016) también reporta valores de 6.21 a 8.5 unidades de pH.

El oxígeno disuelto presenta valores que fluctúan entre 4.56 y 7.5 mg/l, valores que se encuentran dentro de los parámetros normales, (Muñoz, 2016) reporta valores medidos de oxígeno disuelto que oscilaron entre 3 – 10,19 mg/L,

Se puede decir que existen coincidencias a cantidad de oxígeno disuelto en el agua que necesita un organismo depende de la especie, su estado físico, la temperatura del agua, los contaminantes presentes y más. Consecuentemente por esto es imposible predecir con precisión el mínimo nivel de oxígeno disuelto en el agua para peces específicos y animales acuáticos. Por ejemplo, a 5ºC (41ºF), la trucha usa sobre 50-60 miligramos (mg) de oxígeno por hora, a 25ºC (77ºF), ellas deberían necesitar cinco o seis veces esa cantidad. Los peces son especies de sangre fría, por lo que ellos utilizan más oxígeno en temperaturas altas cuando su velocidad metabólica aumenta.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo con el Índice BMWP la calidad del agua fluctúa entre aguas de calidad regular y aguas de calidad aceptable, para el índice IBA, las aguas fluctúan entre aguas de estado ecológico bueno a aguas de estado ecológico muy bueno, para el índice EPT, presenta un valor de 51.47% considera como un estado de calidad bueno, para el índice de Shannon y Weiner registran un valor de 3.2 lo que demuestra que el agua se encuentra ligeramente polucionado**.**

Las familias de macroinvertebrados identificadas durante el estudio con mayor población fueron Baetidae 119, Hydrobiosidae 77, Leptoceridae 66 y la familia Chironomidae. Esta última es una de las familias más tolerantes a la calidad de agua

Los parámetros fisicoquímicos están dentro de los ECA, lo que influye en la presencia de los macroinverebrados en la microcuenca del río Pariac. Asimismo, el oxígeno disuelto promedio reportado registra un valor de 5.90 mg/l.

La calidad del agua se puede determinar a partir de los macroinverebrados, así tenemos para el índice BWMP se obtuvo aguas de condición aceptable y para el índice ABI aguas de estado ecológico bueno.

CAPÍTULO VII
RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los monitoreos permanentes del agua del río Pariac utilizando métodos biológicos para así tener un registro de datos representativos de las condiciones del agua relacionando con las condiciones meteorológicas.

Es necesario monitorear los procesos y las condiciones antrópicas de contaminación del agua ya que esto afecta la presencia y o ausencia de organismos acuáticos, indicadores de la calidad del agua.

Exigir el cumplimiento de la normativa ambiental para evitar actividades contaminantes que afecten el cuerpo de agua y que representan un peligro potencial para la salud de la población.

Se recomienda continuar con los estudios de la calidad del agua del río Pariac utilizando organismos indicadores por su facilidad de aplicación, tomando en cuenta la importancia que representa esta fuente de agua para la región, considerando las variaciones climáticas que se producen durante el año.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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

Alba, J., Pardo, Y., & Prat, N. (2015). *Metodología para el establecimiento el estado ecologico según directiva marco del agua.* España: URS.

Alfonso, A., & Camargo, J. (2005). Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates. *Journal of freshwater ecology* , 20: 311-320.

Bartram, J., & Ballance, R. (1986). *Water quality monitoring: A practical guide to the design of freshwater quality studies and monitoring programmes.* Londres: E & FN Spon. Recuperado de https://apps.who.int/iris/handle/10665/41851

Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Water quality monitoring : a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs.* London: United Nations Environment Programme and the World Health Organization.

Castro, J. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales.* Lima: ANA.

Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring.* London: E& FN Spon.

Cruz, R. (2015). *Desarrollo de alternativas sostenibles de monitoreo y biorremediación de las aguas del río Santa.* Huaraz.

De la Lanza, G., & Hernández , S. (2011). *Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminacion (Bioindicación).* Mexico: PYV.

Encalada, A. R.-T. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos. *CERA-S*, 81-89.

Gabriel, R. P. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical.* Colombia: Colección ciencia y tecnología U de A.

Galloso, A., & Yauri, P. (2017). Macroinvertebrados acuaticos como bioindicadores de la calidad del agua, relacionados con los metales pesados en la subcuenca Yanayacu Ancash setiembre 2015 -abril 2016. *(Tesis de pregrado).* Univerisidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz.

García, R. (2016). Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del Río Chillón (Lima, Perú) y su uso como indicadores biológicos. *(tesis doctoral).* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Hellawell, J. (2011). Biological indicators of freswater pollution and environmental management. *Elesevier Applied Pub.*

Instituto Mi Rio Universidad de Antioquia. (2011). Segunda Evaluación Biológica del rio Medellin. *Colección estado social ecológico y ambiental del río Medellín.*

Klemm, D., & Lewis, P. (1990). Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. . *Enviromental protection agency* .

Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: Una herramienta didáctica. *Revista de didáctica*, 01-18.

Lenntech. (5 de setiembre de 2007). *Agua residual y purificación del aire*. Recuperado de Lenntech: https://www.lenntech.es/index.htm

Loayza, R. (2013). Life at the edge: benthic invertebrates in high altitude Andean streams. *(tesis doctoral).* Universidad de Amsterdam, Holanda.

Mason, C. (1984). *Biología de la contaminación del agua dulce.* Londres: Alhambra.

Medina, Y. (2011). *Macroinvertebrados bentónicos indicadores de contaminacion en el rio Chilí entre junio y agosto 2011.* Arequipa: Universidad Nacional San Agustín.

Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad.* España: ORCYT - UNESCO.

Muñoz, C. (2016). Caracterización fisicoquímica y biológica de las aguas del rio Grande Celendin - Cajamarca. *(tesis pregrado).* Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Navarra. (15 de setiembre de 2019). *agua en navarra*. Recuperado de agua en navarra: http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/El+agua+en+Navarra/RedesControl/RedControl.htm

Palma, C., & Arana, J. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Peru.* Lima: Zona comunicaciones S.A.C.

Palma, C., & Arana, J. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas; Placton, perifitón,bentos(macroinvertebrados)y necton (peces) en aguas continentales del Perú.* Lima: Ministerio del ambiente.

Palomino, R. (2015). Calidad ambiental de las aguas del río Apacheta y sus principales tributarios. *(Tesis de pregrado).* Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.

Prieto, J. (2004). *El agua sus formas efectos abastecimientos usos daños control y conservacion.* Bogota: ECO ediciones.

Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia.* Colombia: Presencia Ltda. 217 pp.

Roldan, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: Uso del método BMWP*. Bogota: Universidad de Antioquia.

Roldan, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamerica. *Revista de la académia colombiana de ciencias exactas ,físicas y naturales*. doi:https://doi.org/10.18257/raccefyn.335

Rubio, J., Meza, A., & Walteros, J. (2012). Calidad del agua y composición de macroinvertebrados acuaticos en la cuenca alta del rio Chinchina. *CALDASIA*, 34, Número 2, p. 443-456.

Ruiz, C. (2010). *Geografia sociedad y naturaleza.* Lima: Lumbreras.

Segnini, S. (2014). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *sociedad venezolana de ecología ecotropicos*, Vol.16(2): 45- 63.

Smith, R., & Smith, T. (2010). *Ecología.* España: Addison Wesley.

Steve, R. (2019). *What are ecological communities*. Recuperado de http://www.steverox.info/Downloads/Teaching/Ecological%20communities.pdf

Vazquez, M., & Medina, C. (2015). Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú). *Rebiol*, 35(2): 75-89.

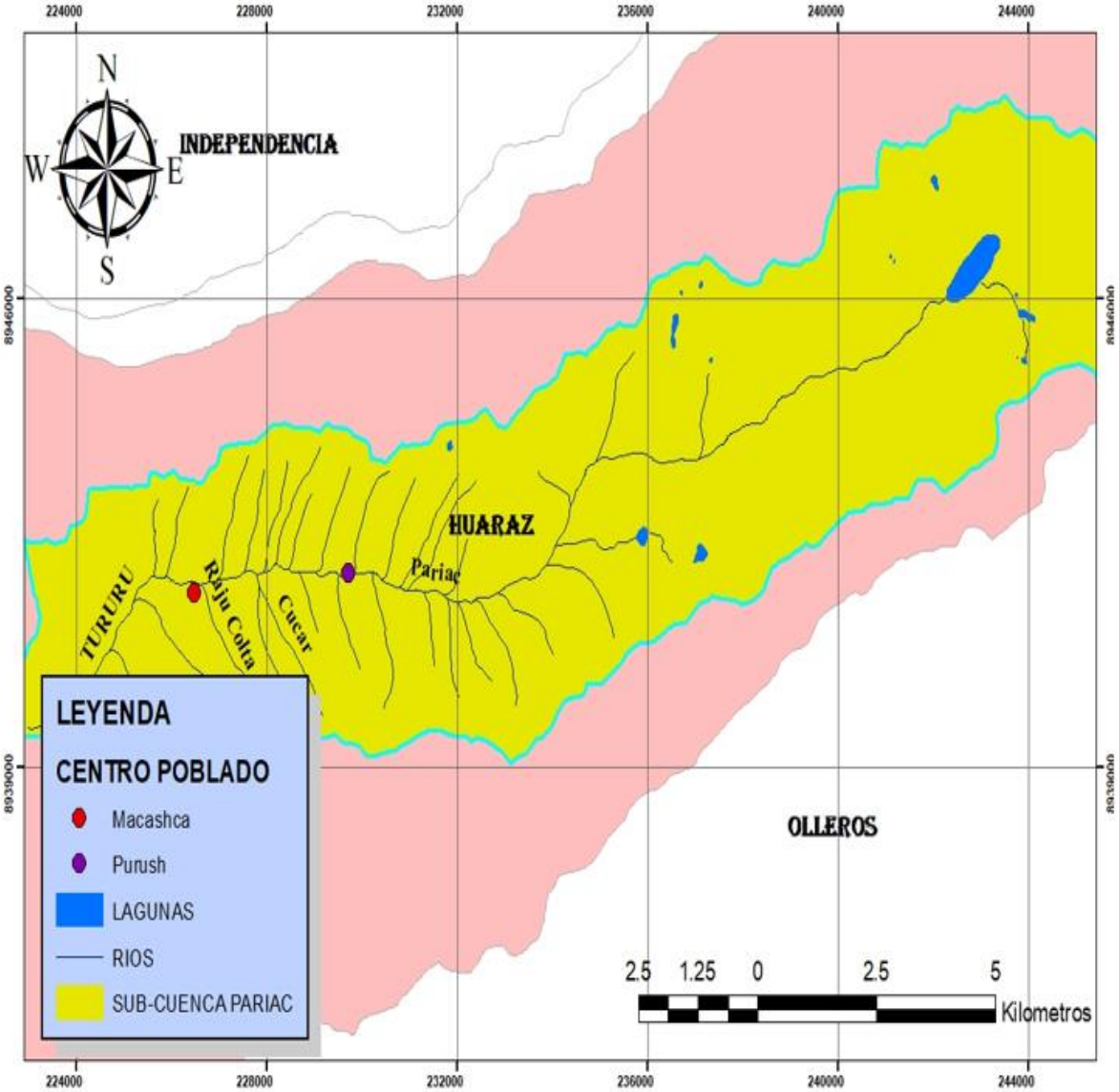
Yépez, Á., Yanez, B., & Morales, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas del rio Quevedo Ecuador. c*iencias ambientales*, 10(1) p 27-34.

Zamora, M. (1999). Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. *AINSA*, 13:17-28.

ANEXOS

ANEXO 01

Mapa de ubicación de la zona de estudio



	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019			
MAPA:	**UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**			FUENTE: IGN del Perú, google earth,
ELABORADO:	Bach. Lizet Caterin Jara Valverde			
ESCALA:	1:90,000	FECHA:	Febrero 2020	MAPA N°
DATUM WGS 84 - ZONA 18 SUR				M - 02

ANEXO 02

ESTACIONES DE MONITOREO

Tabla 13: Descripción de los puntos de muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO				
PUNTOS	COORDENADAS UTM			DESCRIPCIÓN
	X	Y	ALTITUD (msnm)	
PM01	242027	8946172	4245	Localizado aproximadamente a 50 metros agua debajo de la laguna, zona de sobre pastoreo
PM02	238502	8944096	4170	Localizado aguas abajo del primer tributario, zona de pastoreo
PM03	234269	8942508	3926	Localizado a la salida de los dominios del Parque Huascarán
PM04	228501	8941902	3503	Localizado en el cruce del sector de Purush – Macashca, después de la captación para la hidroeléctrica
PM05	225644	8942085	3442	Localizado aguas abajo del centro poblado de Purush y Macashca

ANEXO 03

PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 1A: Toma de muestras de macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos**.**

Figura 6: Toma de muestra a orillas del río Pariac.

Figura 7: Poniendo la muestra tomada al recipiente para su posterior análisis

Figura 8: Observación in situ de la presencia de macroinvertebrados.

Figura 9: Toma de muestras en los puntos PM02 y PM03.

Figura 10: Toma de muestras de los parámetros fisicoquímicos en campo.

ANEXO 2A: Identificación de macroinvertebrados acuáticos en el laboratorio

Figura 11: Separación de muestras para su identificación en el estereoscopio.

Figura 12: *Muestras separadas para su identificación en el estereoscopio.*

Figura 13: Identificación de los macroinvertebrados en el estereoscopio.

ANEXO 04

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS ENCONTRADOS EN LA SUB-CUENCA PARIAC

Chironomidae

Isotomidae

Ceratopogonidae

Leptophlebiidae

 Gripopterygidae	 Baetidae
 Tipulidae	
	 Simuliidae

ANEXO 05

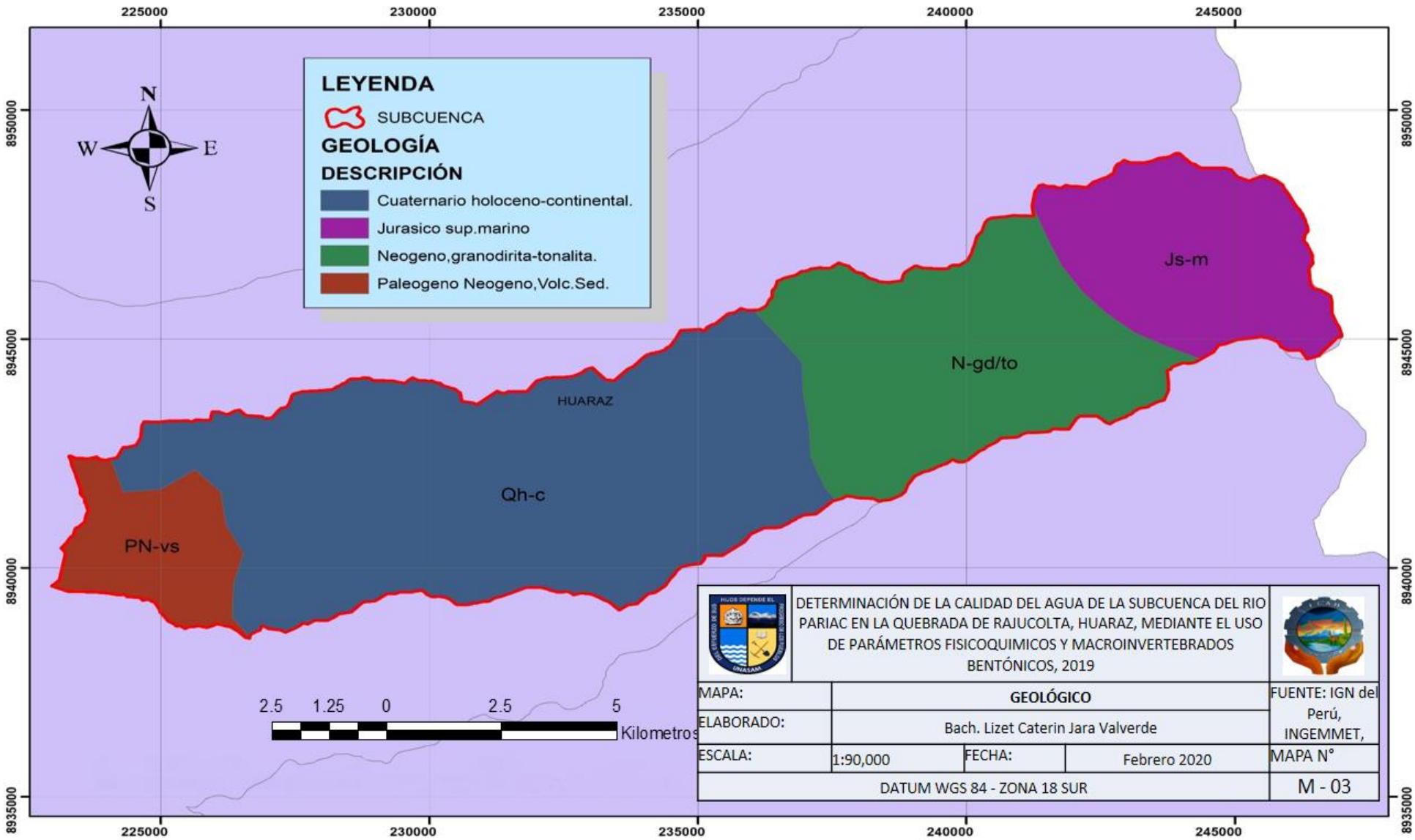
RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS TOMADOS EN CAMPO

Tabla 14: Datos fisicoquímicos tomados en campo

PUNTO DE MUESTREO 01		
FECHA: 08-10-2019		
PARÁMETROS	**UNIDADES**	
PH:	UND pH	5.21
CONDUCTIVIDAD:	µS/cm	57.7
OXÍGENO DISUELTO:	Mg/L	4.46
TEMPERATURA:	°C	10.7
PUNTO DE MUESTREO 02		
FECHA: 08-10-2019		
PARÁMETROS	**UNIDADES**	
PH:	UND pH	6.56
CONDUCTIVIDAD:	µS/cm	49.4
OXÍGENO DISUELTO:	Mg/L	6.45
TEMPERATURA:	°C	12.3
PUNTO DE MUESTREO 03		
FECHA: 28-10-2019		
PARÁMETROS	**UNIDADES**	
PH:	UND pH	6.94
CONDUCTIVIDAD:	µS/cm	41.5
OXÍGENO DISUELTO:	Mg/L	7.5
TEMPERATURA:	°C	14.3
PUNTO DE MUESTREO 04		
FECHA: 28-10-2019		
PARÁMETROS	**UNIDADES**	
PH:	UND pH	7.22
CONDUCTIVIDAD:	µS/cm	39.5
OXÍGENO DISUELTO:	Mg/L	5.9
TEMPERATURA:	°C	14.9
PUNTO DE MUESTREO 05		
FECHA: 28-10-2019		
PARÁMETROS	**UNIDADES**	
PH:	UND pH	7.9
CONDUCTIVIDAD:	µS/cm	38.2
OXÍGENO DISUELTO:	Mg/L	5.1
TEMPERATURA:	°C	15.5

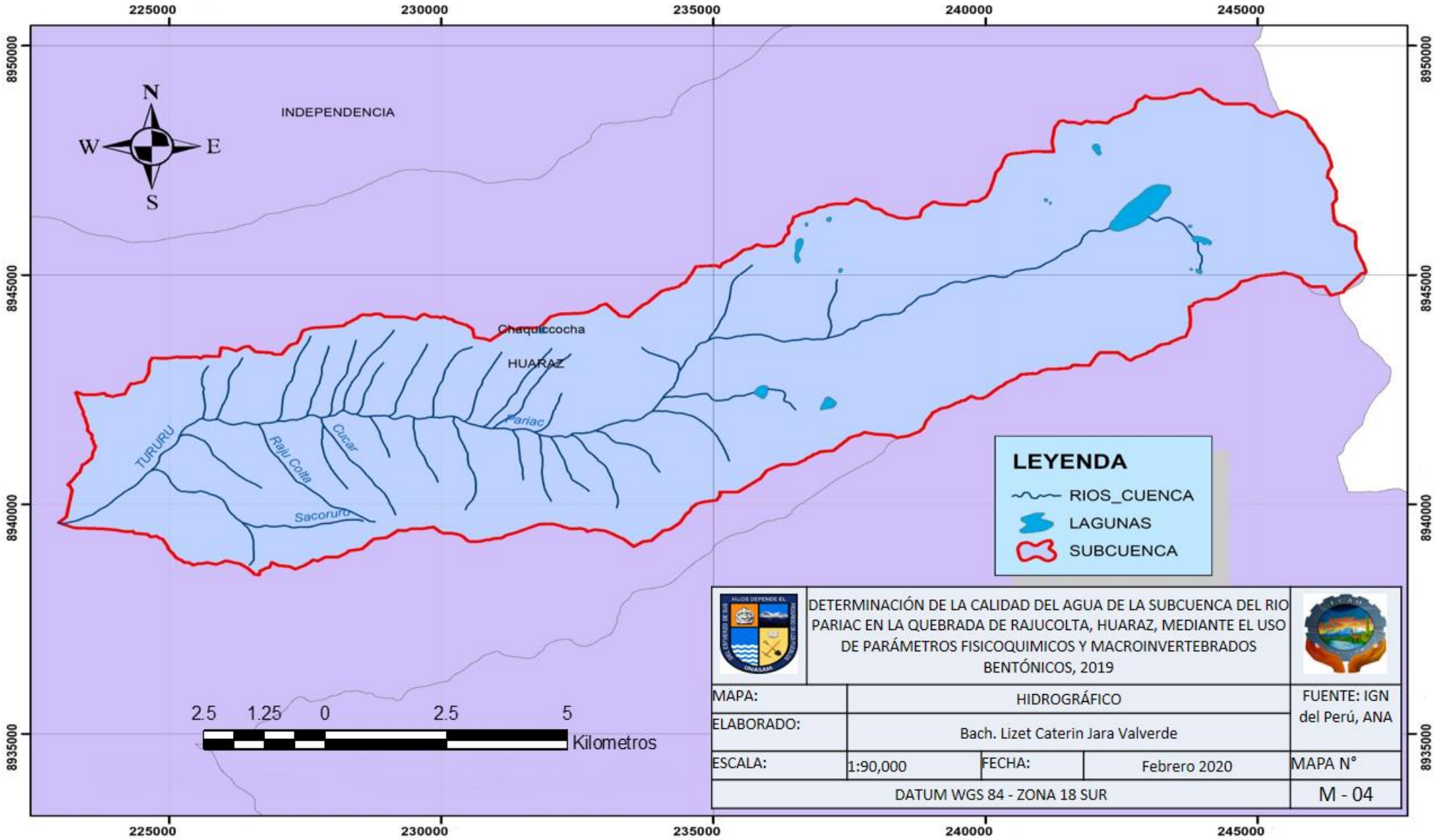
ANEXO 06

MAPA GEOLÓGICO


225000
230000
235000
240000
245000
8950000
8945000
8940000
8935000
N
S
W
E
LEYENDA
SUBCUENCA
GEOLOGÍA
DESCRIPCIÓN
Cuaternario holoceno-continental.
Jurasico sup.marino
Neogeno,granodirita-tonalita.
Paleogeno Neogeno,Volc.Sed.
Js-m
N-gd/to
HUARAZ
Qh-c
PN-vs
2.5 1.25 0 2.5 5
Kilometros
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019
MAPA:
GEOLÓGICO
ELABORADO:
Bach. Lizet Caterin Jara Valverde
ESCALA:
1:90,000
FECHA:
Febrero 2020
DATUM WGS 84 - ZONA 18 SUR
FUENTE: IGN del Perú, INGEMMET,
MAPA N°
M - 03

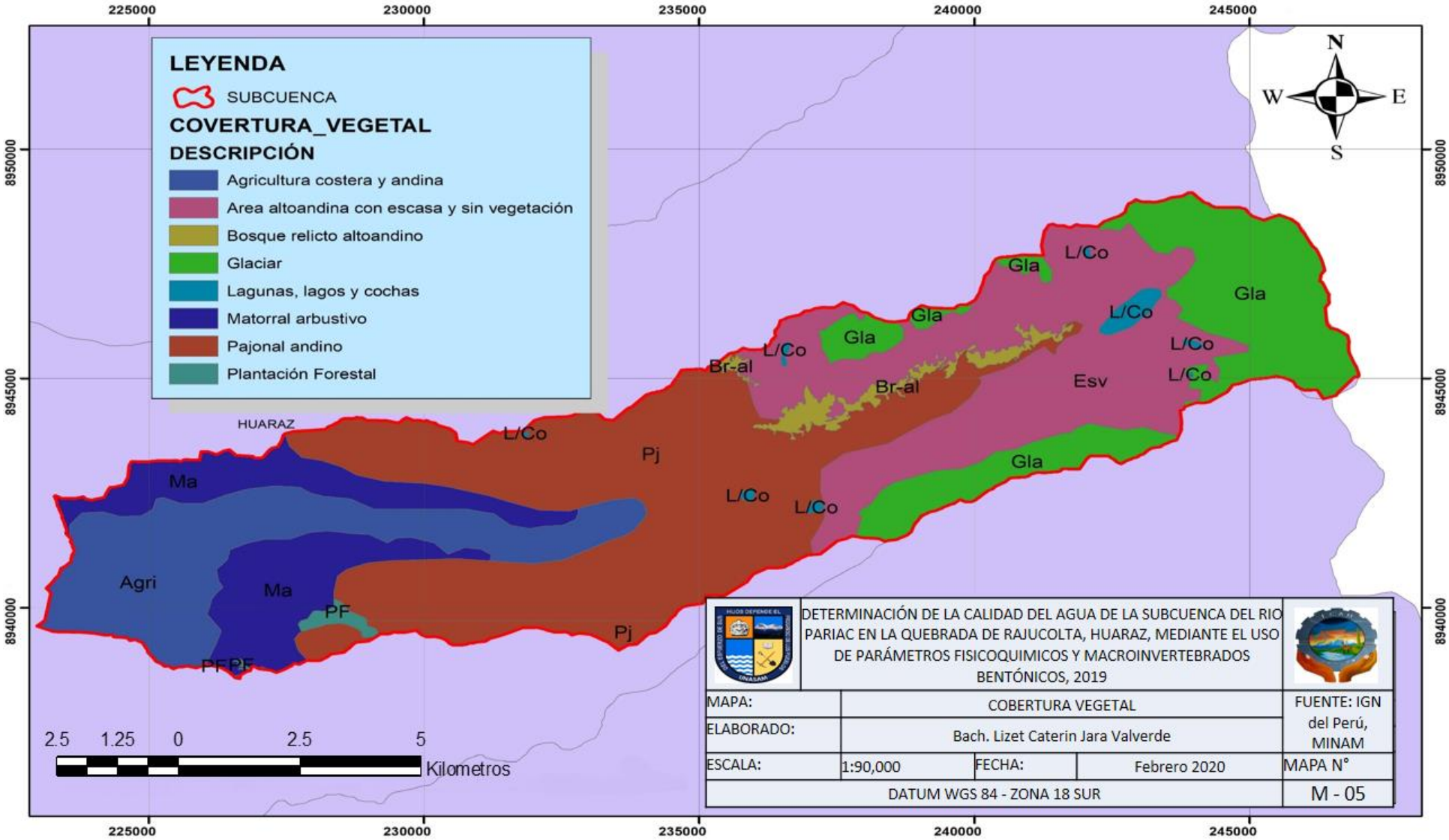
ANEXO 07

MAPA HIDROGRÁFICO


225000
230000
235000
240000
245000
8950000
8945000
8940000
8935000
N
W
E
S
INDEPENDENCIA
Chaquiccocha
HUARAZ
Pariac
TURURU
Raju Colta
Cucar
Sacoruro
LEYENDA
RIOS_CUENCA
LAGUNAS
SUBCUENCA
2.5 1.25 0 2.5 5
Kilometros
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019
MAPA:
HIDROGRÁFICO
FUENTE: IGN del Perú, ANA
ELABORADO:
Bach. Lizet Caterin Jara Valverde
ESCALA:
1:90,000
FECHA:
Febrero 2020
MAPA N°
DATUM WGS 84 - ZONA 18 SUR
M - 04

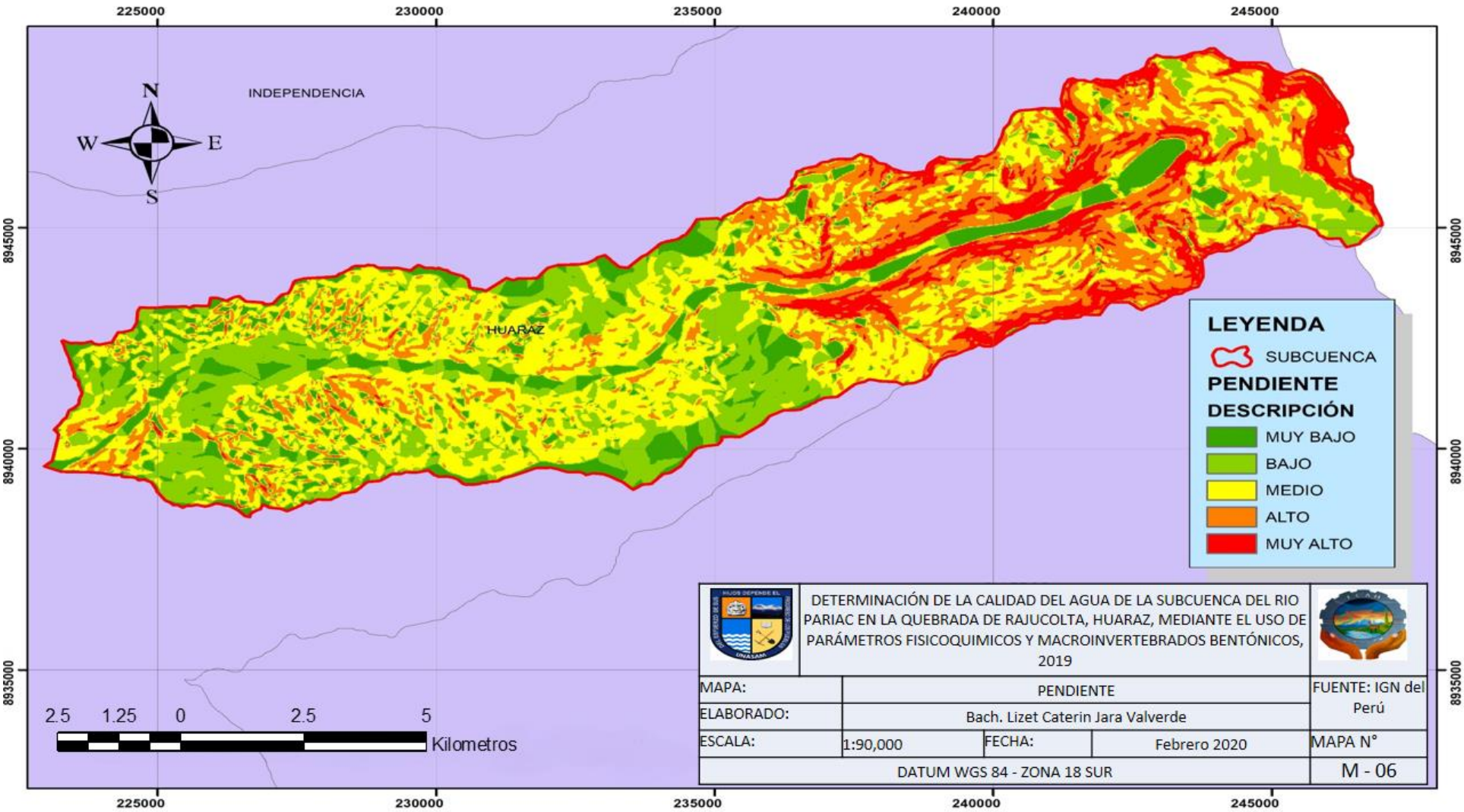
ANEXO 08

MAPA COBERTURA VEGETAL


LEYENDA
SUBCUENCA
COVERTURA_VEGETAL
DESCRIPCIÓN
Agricultura costera y andina
Area altoandina con escasa y sin vegetación
Bosque relicto altoandino
Glaciar
Lagunas, lagos y cochas
Matorral arbustivo
Pajonal andino
Plantación Forestal
225000
230000
235000
240000
245000
8950000
8945000
8940000
N
S
W
E
HUARAZ
Ma
Agri
PF
Pj
L/Co
Br-al
Gla
Esv
2.5 1.25 0 2.5 5
Kilometros
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019
MAPA:
COBERTURA VEGETAL
ELABORADO:
Bach. Lizet Caterin Jara Valverde
ESCALA:
1:90,000
FECHA:
Febrero 2020
DATUM WGS 84 - ZONA 18 SUR
FUENTE: IGN del Perú, MINAM
MAPA N°
M - 05

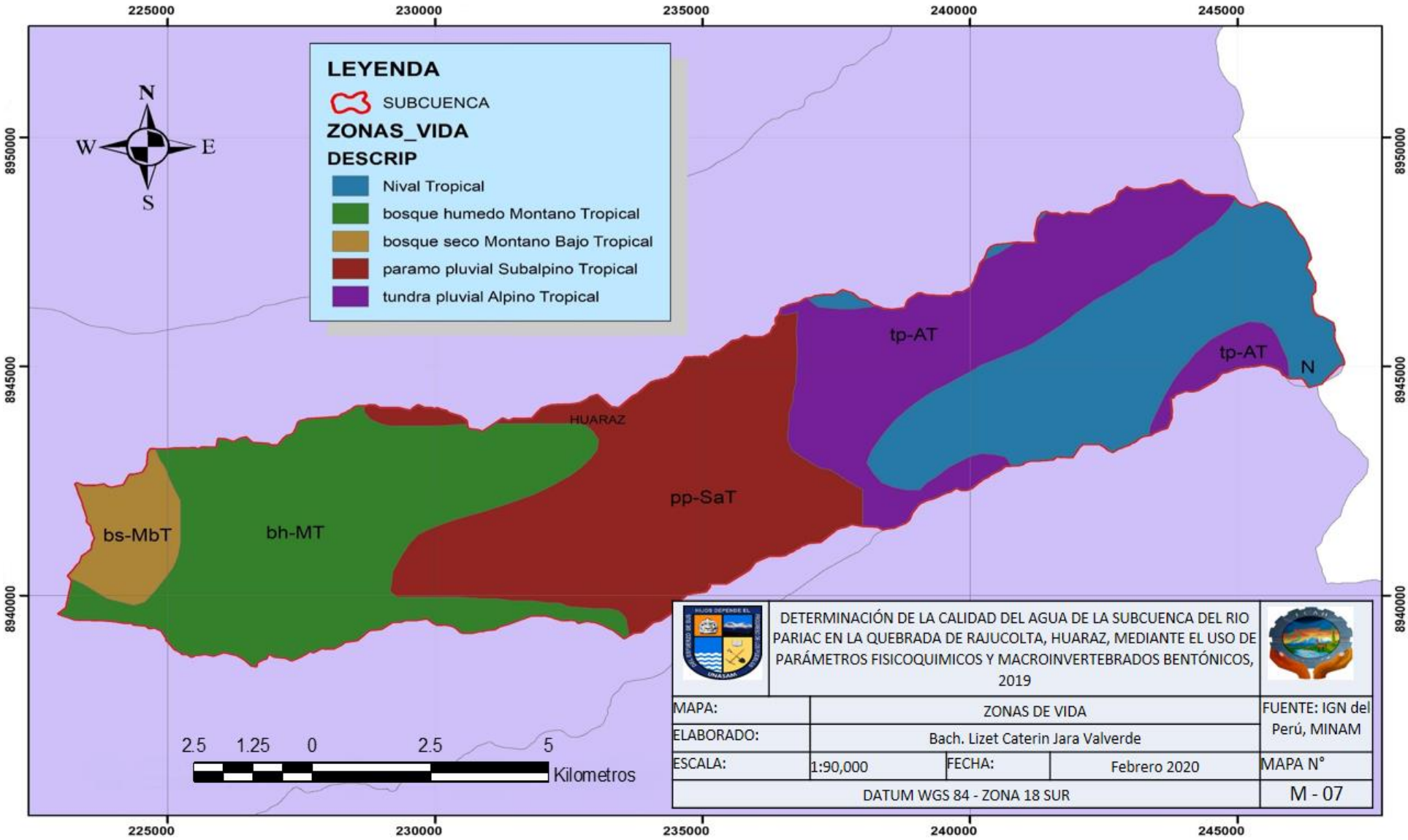
ANEXO 09

MAPA DE PENDIENTES


225000
230000
235000
240000
245000
8945000
8940000
8935000
N
S
W
E
INDEPENDENCIA
HUARAZ
LEYENDA
SUBCUENCA
PENDIENTE
DESCRIPCIÓN
MUY BAJO
BAJO
MEDIO
ALTO
MUY ALTO
2.5 1.25 0 2.5 5
Kilometros
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019
MAPA:
PENDIENTE
FUENTE: IGN del Perú
ELABORADO:
Bach. Lizet Caterin Jara Valverde
ESCALA:
1:90,000
FECHA:
Febrero 2020
MAPA N°
DATUM WGS 84 - ZONA 18 SUR
M - 06

ANEXO 10

MAPA DE ZONAS DE VIDA


225000
230000
235000
240000
245000
8950000
8945000
8940000
N
S
W
E
LEYENDA
SUBCUENCA
ZONAS_VIDA
DESCRIP
Nival Tropical
bosque humedo Montano Tropical
bosque seco Montano Bajo Tropical
paramo pluvial Subalpino Tropical
tundra pluvial Alpino Tropical
HUARAZ
tp-AT
tp-AT
N
pp-SaT
bh-MT
bs-MbT
2.5 1.25 0 2.5 5
Kilometros
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO PARIAC EN LA QUEBRADA DE RAJUCOLTA, HUARAZ, MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, 2019
MAPA:
ZONAS DE VIDA
FUENTE: IGN del Perú, MINAM
ELABORADO:
Bach. Lizet Caterin Jara Valverde
ESCALA:
1:90,000
FECHA:
Febrero 2020
MAPA N°
DATUM WGS 84 - ZONA 18 SUR
M - 07