UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO CASCALES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS.

AUTORES

Karen Elizabeth Alvarado Álvarez

Yamilet Marilin González Merino

DIRECTOR DEL PROYECTO

M. Sc. Leo Maximiliano Rodríguez Badillo

COTUTOR DEL PROYECTO

Blgo. Edison Xavier Carvajal Parra

Puyo-Ecuador

2020-2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe Alvarado Alvarez Karen Elizabeth con C.I: 2100638432 y González Merino Yamilet Marilin con C.I: 2100755467, hacemos constar que somos autoras del Proyecto de Investigación titulado: "Evaluación de la calidad de agua del río Cascales mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor y Cotutor de dicho proyecto, Msc. Rodríguez Badillo Leo Maximiliano y Blgo. Carvajal Parra Edison Xavier. En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 19 días del mes de febrero del 2021.



Alvarado Alvarez Karen Elizabeth
C.I: 2100638432



González Merino Yamilet Marilin
C.I: 2100755467

Firmado electrónicamente por:
LEO MAXIMILIANO RODRIGUEZ BADILLO

Rodríguez Badillo Leo Maximiliano
Tutor



Carvajal Parra Edison Xavier
Cotutor

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación titulado: "Evaluación de la calidad de agua del río Cascales mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos".



Dr. Edison Samaniego
Presidente del Tribunal



M.Sc. Santiago Cuichán
Miembro del Tribunal



M.Sc. Edgar Rubén Chicaiza
Miembro del Tribunal.

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA DE ANTI-PLAGIO

Quien suscribe el presente M.Sc. Leo Maximiliano Rodríguez Badillo con CI: 1714789987 certifica que el proyecto de Investigación titulado "Evaluación de la calidad de agua del río Cascales mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos" ha sido examinado a través del sistema antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 9 %.

En el cantón Pastaza, a los 18 días del mes de febrero del 2021.

Firmado electrónicamente por:
LEO MAXIMILIANO RODRIGUEZ BADILLO

M.Sc. Leo Maximiliano Rodríguez Badillo

Director del Proyecto de Investigación

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe Alvarado Alvarez Karen Elizabeth y González Merino Yamilet Marilin, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Proyecto de Investigación.





Alvarado Álvarez Karen Elizabeth
C.I: 2100638432

González Merino Yamilet Marilin
C.I: 2100755467

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Jenny Álvarez, quien es la persona a quien más quiero en este mundo, por ser una mujer ejemplar, a quien admiro muchísimo por su esfuerzo y dedicación, gracias a sus consejos y enseñanzas y su manera de instruirme para afrontar cualquier dificultad que se pueda presentar a lo largo de mi vida.

Alvarado Alvarez Karen Elizabeth

A Dios por darme la vida y por acompañarme en cada uno de mis pasos.

A mis padres Rosa María Merino Torres y Alonso Aurio González Rodríguez, por ser mi ejemplo de lucha y por haberme enseñado que las cosas buenas se consiguen a base de sacrificio, responsabilidad y perseverancia.

A mi familia por su cariño y apoyo incondicional, durante toda esta travesía.

Al Blgo. Xavier Carvajal, por toda la ayuda ofrecida durante mi formación académica y por siempre brindarme motivación para concluir mis metas.

González Merino Yamilet Marilin

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento de mi vida tan importante que es mi formación académica.

A mi madre por ser el único pilar importante quien me acompañado durante todo mi trayecto estudiantil, y por siempre demostrarme su apoyo y cariño incondicional cuando más lo he necesitado, sin importar nuestras diferencias y opiniones.

A mi tía Yamilet González que es con quien compartí estos años de universidad que fueron momentos significativos en nuestras vidas y por siempre estar dispuesta ayudarme en lo que he necesitado.

A mi tío José Alvarez, por el apoyo brindado durante la realización de esta investigación por estar siempre al tanto de lo que necesitemos.

A mi familia en general quienes han sido pilar fundamental en mi vida personal como académica, por siempre brindarme su apoyo en todo momento.

De igual manera a mis amigos con quien he vivido momentos buenos y malos que hicieron de esta experiencia unas de las más especiales.

Finalmente, a mis docentes por la paciencia y dedicación que nos han brindado académicamente, en especial al Blgo. Xavier Carvajal, por su valiosa asesoría en diferentes áreas de información, para la realización de esta tesis.

Alvarado Alvarez Karen Elizabeth

A Dios principalmente, por guiarme y darme las fuerzas necesarias para cumplir con la culminación de una de mis metas como lo es mi formación profesional.

A mis padres por el apoyo tanto moral como económico que me han brindado incondicionalmente.

A mi familia en especial a mi hermano José Miguel Alvarez, por el apoyo brindado para la realización del trabajo de campo.

A mi sobrina Karen Elizabeth Alvarado por haber aceptado ser parte de este proyecto y por la disposición que ha presentado para la realización del trabajo de campo y del presente escrito.

A Giuseppe Tobón, que durante mi estadía en la universidad supo apoyarme en las buenas y en las malas, soportando mi mal carácter y convirtiéndose en una gran compañía.

A mi tutor Ing. Leo Maximiliano Rodríguez, por su acompañamiento y colaboración en la realización de este proyecto.

A mi cotutor Blgo. Edison Xavier Carvajal, un profundo agradecimiento por toda la paciencia y compromiso que ha demostrado para el desarrollo de este proyecto.

A mi amigo Ing. Paterson Yépez, por su asesoramiento para la selección del tema de este proyecto.

A los docentes, en especial a los miembros del tribunal quienes dedicaron su tiempo, paciencia y conocimiento, en la revisión de este proyecto.

Finalmente a la Universidad Estatal Amazónica, por haberme brindado la oportunidad de formarme en esta gran casa de estudio.

González Merino Yamilet Marilin

RESUMEN

El presente proyecto fue desarrollado en el Cantón Cascales, provincia de Sucumbíos, Amazonía Ecuatoriana, específicamente en la microcuenca del río Cascales caracterizada por un creciente deterioro ambiental a causa de las descargas de aguas residuales industriales y domésticas, siendo el objetivo de esta investigación la determinación de la calidad de agua del cuerpo hídrico, mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos.

El estudio se realizó en el 2020 durante los meses de octubre, noviembre y diciembre; consistió en el reconocimiento de la microcuenca para la identificación de las fuentes de contaminación, selección de sitios de muestreo, medición de algunos parámetros físico-químicos y monitoreo de macroinvertebrados. A los datos bióticos se aplicó índice como Diversidad de Shannon e índices de calidad de agua como BMWP/Col y EPT.

En los seis sitios de muestreo seleccionados, se registraron un total 562 individuos, agrupados en 14 órdenes, 25 familias, 29 géneros, 31 especies, incluyendo dos morfoespecies no identificadas. Las familias con mayor cantidad de individuos son: Leptophlebiidae con 233 individuos, Coenagrionidae con 52 individuos y Gerridae con 42 individuos, el resto de familias presenta menos de 40 individuos.

Los índices empleados muestran que la mejor calidad de agua se encuentra en la microcuenca alta ubicado en el sitio 1, presentando valores de diversidad de 1.78 a 2.3, BMWP/Col de 80-91 y EPT 48-52. En cuanto a la mayor contaminación se registró en la microcuenca baja específicamente en el sitio 5, presentando valores de diversidad de 0.63 a 1.5, BMWP/Col de 12-41y EPT de 0-13.

La aplicación de los índices permitió demostrar que la calidad de agua en el río desciende significativamente ante las descargas de aguas residuales, sin embargo también se pudo evidenciar que el río en ciertos sitios tiende a experimentar cierta recuperación al alejarse de aquella contaminación.

Palabras clave: índices de calidad, indicadores biológicos, diversidad

ABSTRACT

This project was developed in the Cascales Canton, Sucumbíos province, Ecuadorian Amazon, specifically in the Cascales river micro-basin characterized by increasing environmental deterioration due to the discharges of industrial and domestic wastewater, for which the objective of the research is to evaluate the water quality of the hydric length by using macroinvertebrates as biological indicators.

The study was carried out in 2020 respectively in the months of October, November and December; It consisted of the recognition of the micro-basin for the identification of the sources of contamination, selection of sampling sites, measurement of some physical-chemical parameters and monitoring of macroinvertebrates. Shannon's diversity index and water quality indices such as BMWP / Col and EPT were applied to the biotic data obtained.

At the six sampling sites selected in the three months of monitoring, a total of 562 individuals were recorded, grouped into 14 orders, 25 families, 29 kind, 31 species, including two unidentified morphospecies. The families with the highest number of individuals are: Leptophlebiidae with 233 individuals, Coenagrionidae with 52 individuals and Gerridae with 42 individuals, the rest of the families have less than 40 individuals.

The quality indices indicated that the best water quality is found in the upper watershed, that is, in site 1, presenting a medium diversity, BMWP / Col values of 80-91 and EPT 48-52; and the highest contamination was recorded in the lower watershed specifically at site 5, presenting low diversity, BMWP / Col values of 12-41 and EPT of 0-13.

The application of the indices made it possible to demonstrate that the water quality in the river decreases significantly in the face of wastewater discharges, however it was also possible to show that the river in certain places tends to experience a certain recovery when moving away from that contamination.

Keywords: quality indices, biological indicators, diversity

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 1

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.2. OBJETIVOS 3

1.2.1. Objetivo General 3

1.2.2. Objetivos Específicos 3

1.3. JUSTIFICACIÓN 3

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 5

2.1. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS 5

2.2. SERVICIOS AMBIENTALES 5

2.3. CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES 6

2.4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA 6

2.4.1. Tipos de contaminación según su origen 6

2.4.2. Tipos de contaminación según su localización 7

2.5. BIOMONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA 7

2.6. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA CON LA MACROFAUNA ACUÁTICA 8

2.6.1. Turbiedad 8

2.6.2. Potencial de hidrógeno-pH 8

2.6.3. Temperatura 8

2.6.4. Caudal 9

2.7. BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA 9

2.7.1. Macroinvertebrados acuáticos 9

2.7.2. Macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua 14

2.7.3. Índices bióticos 15

2.7.4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener 16

CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 17

3.1. LOCALIZACIÓN 17

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 18

3.2.1. Investigación no experimental con diseño longitudinal 18

3.2.2. Investigación descriptiva correlacional 18

3.2.3. Investigación de campo 18

3.2.4. Investigación documental 18
3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN 18
3.3.1. Determinación de las fuentes de contaminación del río Cascales 18
3.3.2. Identificación de las familias de macroinvertebrados, cálculo de índices y determinación de parámetros físico-químicos 19
3.3.3. Determinación de la Diversidad de macroinvertebrados..... 21
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS 22
4.1. DETERMINACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL RÍO CASCALES 22
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS, CÁLCULO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA Y PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS 28
4.2.1. Análisis de resultados correspondientes al mes de Octubre 2020 30
4.2.2. Análisis de resultados correspondientes al mes de Noviembre 2020..... 34
4.2.3. Análisis de resultados correspondientes al mes de Diciembre 2020..... 37
4.2.4. Discusión de resultados 40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 43
REFERENCIAS..... 45
ANEXOS..... 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático……...….10

Figura 2-2. Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático……...…….11

Figura 3-2. Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático……11

Figura 1-3. Ubicación de la microcuenca del río Cascales, provincia de Sucumbíos……...17

Figura 2-3. Método Kick Sampling para la colecta de macroinvertebrados……..20

Figura 3-3. Medición de parámetros físico-químicos…….21

Figura 1-4. Actividad minera descubierta en el sitio 1 en el mes de noviembre……23

Figura 2-4. Estado de contaminación del sitio 1 de la microcuenca del río Cascales...23

Figura 3-4. Frente de explotación minera ubicado en la Voluntad de Dios……...24

Figura 4-4. Estado de contaminación del sitio 2 de la microcuenca del río Cascales...24

Figura 5-4. Extracción de oro con chorro de agua detectado en el sitio 3…….25

Figura 6-4. Estado de contaminación del sitio 3 de la microcuenca del río Cascales...25

Figura 7-4. Estado de contaminación del sitio 4 de la microcuenca del río Cascales...26

Figura 8-4. Descarga de agua residual procedente del casco urbano…….26

Figura 9-4. Estado de contaminación del sitio 5 de la microcuenca del río Cascales...27

Figura 10-4. Estado de contaminación del sitio 6 de la microcuenca del río Cascales……...27

Figura 11-4. Sitios de muestreo en las fuentes de contaminación que recibe el río Cascales……...28

Figura 12-4. Abundancia de macroinvertebrados identificados en la microcuenca del río Cascales desde octubre hasta diciembre de 2020…….....……..30

Figura 13-4. Cantidad de Familias agrupadas por la valoración de tolerancia de contaminación en el índice BMWP/Col……..30

Figura 14-4. Índice de Diversidad correspondiente al mes de octubre de 2020…….32

Figura 15-4. Índice BMWP/Col correspondiente al mes de octubre de 2020……32

Figura 16-4. Índice EPT correspondiente al mes de octubre de 2020……33

Figura 17-4. Caudal registrado durante el mes de octubre de 2020….....……33

Figura 18-4. Concentración de parámetros físico-químicos registrado durante el mes de octubre de 2020…...…….…...34

Figura 19-4. Índice de Diversidad correspondiente al mes de noviembre de 2020…...35

Figura 20-4. Índice BMWP/Col correspondiente al mes de noviembre de 2020……...36

Figura 21-4. Índice EPT correspondiente al mes de noviembre de 2020……...….....37

Figura 22-4. Caudal registrado durante el mes de noviembre de 2020……..……37

Figura 23-4. Concentración de parámetros físico-químicos registrado durante el mes de noviembre de 2020……..38

Figura 24-4. Índice de Diversidad correspondiente al mes de diciembre de 2020…….39

Figura 25-4. Índice BMWP/Col correspondiente al mes de diciembre de 2020…..… 40

Figura 26-4. Índice EPT correspondiente al mes de diciembre de 2020……40

Figura 27-4. Caudal registrado durante el mes de diciembre de 2020……...41

Figura 28-4. Concentración de parámetros físico-químicos registrado durante el mes de diciembre de 2020……...41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-4: Ubicación geográfica de los sitios de muestreo estudiados en la microcuenca del río Cascales……....28

Tabla 2-4: Comunidad de macroinvertebrados identificados en la microcuenca del río Cascales desde octubre hasta diciembre de 2020……....29

Tabla 3-4: Macroinvertebrados colectados en el mes de octubre de 2020……..…. 31

Tabla 4-4: Macroinvertebrados colectados en el mes de noviembre de 2020…..…… 34

Tabla 5-4: Macroinvertebrados colectados en el mes de diciembre de 2020……..…38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Puntuaciones de sensibilidad de los macroinvertebrados a los contaminantes…. 50
Anexo 2. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice BMWP/Col. 50
Anexo 3. Niveles de calidad de las aguas y los rangos de valores según el Índice BMWP/Col y el color para cartografía. 51
Anexo 4. Clases de calidad, significación de los valores de EPT..... 51
Anexo 5. Significación del índice de Shannon. 51
Anexo 6. Concesiones mineras presentes en la microcuenca del río Cascales..... 52
Anexo 7. Orden Ephmeroptera. 52
Anexo 8. Orden Odonata. 52
Anexo 9. Orden Hemiptera. 53

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los ríos constituyen uno de los cuerpos naturales de agua más importantes debido a los múltiples beneficios que ofrecen a los seres humanos tanto a nivel socioeconómico como en términos de servicios ecosistémicos, relacionados con la recreación, los usos culturales y otros aspectos funcionales; los convierten en elementos prioritarios al momento de considerar estrategias de manejo y conservación ambiental (Rodriguez et al., 2016). Sin embargo la utilización de estos cuerpos de agua por parte de la población humana para la realización de varias actividades tales como: desarrollo urbano, agricultura, industria y en especial la minería ilegal; son causas directamente relacionadas a la contaminación del agua, que han originado el deterioro de estos sistemas hídricos y han afectado la presencia de macroinvertebrados acuáticos.

En el Ecuador las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad del agua, están basadas casi exclusivamente en análisis físico-químicos, pero la enorme variedad de contaminantes producidos y el hecho de que los vertidos son generalmente puntuales en el tiempo exigen de nuevas metodologías. Las técnicas que utilizan a los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración y la cartografía de la calidad del agua (Lúcia et al., 2005).

La metodología de evaluación con macroinvertebrados acuáticos posee varias ventajas perceptibles: son de bajo costo en relación a la de análisis físico-químicos, no requieren de equipos costosos ya que las técnicas de muestreo son muy estandarizadas; se logra una mayor rapidez en su aplicación y constituyen el reflejo de las afectaciones tiempos atrás; mientras que los métodos físico-químicos sólo reflejan lo que ocurre en el momento de la medición. Además no se requieren especialistas para la determinación del material vivo ya que este presenta un tamaño relativamente grande, y de fácil muestreo (Muñoz et al., 2003).

En este marco, el río Cascales no está exento a la problemática de contaminación hídrica, puesto que en los últimos 15 años la actividad minera ha provocado la disminución de la calidad y cantidad del cuerpo hídrico. Según información de la municipalidad y la población, entre los años 1972 y 2002, el río proveía de agua para el consumo de personas y animales, además de ser una fuente de ingresos para el turismo

ya que se realizaban actividades recreacionales. Pero actualmente la calidad del agua del río se ha visto afectada por lo que estas actividades han desaparecido (Mediavilla, 2019).

Por todo ello, el proyecto seleccionado se debe a la importancia social, económica y ambiental, que representa este afluente natural, motivo por el cual la investigación tuvo como objetivo, evaluar la calidad de agua del río Cascales mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos y aplicando el índice Biological Monitoring Working Party-BMWP (Roldán, 2003), junto con el índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera-EPT (Carrera & Fierro, 2001), mismos que son utilizados para el seguimiento de la salud ambiental del cuerpo hídrico. Además el índice de Shannon para la determinación de la diversidad existente en los sitios de muestreo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo al informe sobre la Estrategia Nacional de Calidad del Agua 2016-2030 (Secretaría Nacional del Agua et al., 2016), indica que el 65% de ríos se encuentran contaminados y no son aptos para el consumo humano, esto se debe a que la mayoría de ríos reciben descargas directas de aguas residuales urbanas o industriales, alterando la composición física, química y biológica de los cuerpos de agua.

Para poder estimar los niveles de contaminación que presentan los ríos, se han establecido Índices de Calidad de Agua, pudiendo obtener valores mediante la utilización de parámetros físico-químicos o indicadores biológicos, sin embargo, en el Ecuador, pocos son los ríos que han sido analizados para determinar la calidad del agua, en especial los que se encuentran en la región amazónica.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Dorado de Cascales (PDOT Cascales, 2015), el proceso de mayor deterioro que presenta la microcuenca del río Cascales, corresponde a la contaminación proveniente de la actividad minera, sumado a las descargas originadas en la zona urbana del cantón. A pesar de la existencia de ésta problemática, las autoridades no han implementado un sistema de monitoreo para determinar la calidad de estas aguas, por lo que la realización de un diagnóstico es de suma importancia, ya que servirá para entender los impactos actuales que está causando la contaminación sobre los ecosistemas y la población aledaña, así como las futuras consecuencias que se podrían presentar.

Frente a estas circunstancias se plantea la siguiente interrogante:

¿De qué manera incide las descargas de aguas contaminadas en las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos que habitan en el río y cómo estos resultados podrían ser interpretados para determinar la calidad de agua del río Cascales?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad de agua del río Cascales mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las principales fuentes de contaminación del río Cascales.
- Identificar las familias de macroinvertebrados presentes en la microcuenca del río Cascales y determinar su valoración ambiental mediante el cálculo de dos índices biológicos: el BMWP (Biological Monitoring Working Party), junto con el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).
- Caracterizar la diversidad existente en cada punto de muestreo a través del índice de diversidad de Shannon-Wiener.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Ecuador es uno de los países más ricos en recursos hídricos de Sudamérica: dispone de $43{,}500\,m^3$ por persona al año (Cabrera et al., 2012), sin embargo sus ríos corresponden uno de los tipos de ecosistemas más afectados por la contaminación humana, ya que comúnmente, son utilizados como una vía fácil de eliminación de residuos que se han generado por la actividad del hombre, provocando una degradación en las características bióticas y abióticas en estos ecosistemas.

Los niveles de contaminación que presentan los ríos de la Amazonía, principalmente los que reciben descargas de la actividad industrial como la minera y petrolera, están afectando a la salud de los pobladores, ya que según (Vellosa et al., 2019) en los análisis de agua de estos ríos se han encontrado metales como cadmio, mercurio, plomo, cobre, zinc cuyos valores sobrepasan los parámetros máximos permisibles, además estos metales se acumularían en los organismos acuáticos, lo que afectaría a la cadena trófica del ecosistema.

Para determinar una línea base de los factores que inciden en la contaminación de una cuenca o microcuenca hidrográfica, es necesario que los entes de control como

Gobiernos Autónomos locales y Ministerios, realicen programas de monitoreo en donde se utilicen índices de calidad de agua ya sea mediante la utilización de parámetros físico-químicos o biológicos.

Para un buen conocimiento del ecosistema fluvial, así como para el análisis de las alteraciones que tienen lugar en él, es impredecible estudiar e investigar a los organismos que habitan en las aguas. De entre ellos, los macroinvertebrados adquieren una gran importancia en el estudio de la calidad de aguas por varias razones: son sensibles a ciertos tipos de contaminantes; generalmente son sedentarios, siendo buenos representantes de las condiciones locales; son abundantes, ubiquistas y relativamente sencillos de capturar e identificar; presentan una vida lo suficientemente larga para informar sobre la calidad medioambiental, además permite de una manera eficaz estimar tanto la calidad como las condiciones en las que se encuentra dicho ecosistema (Lozano et al., 1996)

En este contexto, el río Cascales se ve amenazado principalmente por el incremento de la minería ilegal, puesto que esta ha provocado la destrucción de la cobertura vegetal y la muerte de la fauna tanto acuática como terrestre. A este problema de contaminación se suma otras actividades como las descargas de aguas residuales procedentes del sistema de recolección del centro urbano, produciendo de esta manera alteraciones graves en la calidad del agua. Es importante resaltar que en los "últimos 15 años el río ha permanecido con una turbiedad muy alta, y en lugar de ser agua la mayoría de la población considera que es lodo lo que fluye por el cauce (Mediavilla, 2019)".

Frente a estas circunstancias, la razón primordial que nos motiva a realizar este proyecto de investigación, es estudiar e investigar a los macroinvertebrados que habitan en este cuerpo hídrico ya que estos junto con los índices bióticos BMWP/Col y EPT permitirán evaluar la calidad del agua. Además el índice de Shannon determinará si las actividades realizadas en la microcuenca del río Cascales repercuten en la diversidad de estos microorganismos. Finalmente, los resultados de este proyecto aportarían con una base para el desarrollo de estudios posteriores, así como también constituiría el primer estudio de calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados que permitiría a los interesados en el manejo de la microcuenca del río Cascales, desarrollar actividades encaminadas a la protección y cuidado del cuerpo hídrico.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica del agua, la atmósfera y el medio terrestre que lo rodea. El agua, el compuesto más abundante sobre la tierra, posee características físicas y químicas que la hacen fundamental y única para la vida. Por tanto, cualquier alteración que el hombre cause en ella, repercute en la estructura de las comunidades que lo habitan. El agua tiene, además, la capacidad de transporte rápido de todo tipo de sustancias, incomparable con ningún otro compuesto sobre la Tierra (Roldán, 2003).

Para (Ballesteros et al., 2015), limnología es el estudio de las relaciones funcionales de la productividad de comunidades de agua dulce y cómo estas son afectadas por los factores físicos, químicos y biológicos. Dentro de esta se encuentran dos tipos de ecosistemas acuáticos: lénticos y lóticos, mismos que se describen a continuación:

- Ambientes lénticos, se refiere a cuerpos de agua casi cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr o fluir como lagos, lagunas, esteros, pantanos o presas.
- Un ambiente lótico, se refiere a un manantial, arroyo o río. Son considerados uno de los recursos naturales más importantes para la vida; sin embargo, en las últimas décadas han sufrido grandes impactos, causados por las actividades humanas, que han llevado a una reducción sustancial de la diversidad acuática, gran parte, de la cual, está representada por los insectos acuáticos, que son, con frecuencia, el principal componente animal de estos ecosistemas (Mosquera & Mosquera, 2017).

2.2. SERVICIOS AMBIENTALES

De acuerdo a (Liévano & Cadena, 2020), los servicios que nos prestan los ecosistemas de los ríos se agrupan en cuatro categorías importantes: servicios de soporte como el reciclaje del agua y los nutrientes, así como el mantenimiento de la biodiversidad; servicios de aprovisionamiento que proporcionan los recursos hídricos necesarios para la vida, la agricultura, la pesca y el uso industrial; servicios de regulación como el control de inundaciones y funciones de purificación natural del agua; y servicios culturales que incluyen las creencias religiosas, la memoria histórica

étnica, la cultura alimentaria, los deportes acuáticos y la pesca. “La relación entre la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas presenta diferentes respuestas, entre las cuales se puede considerar que a mayor biodiversidad existe mayor funcionalidad del ecosistema (Rocha & Cuéllar, 2019)”.

2.3. CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

Se refiere a las características químicas, físicas o biológicas del agua. La calidad del agua es una medida de la condición del agua en relación con su impacto en una o más especies acuáticas como peces, ranas y macroinvertebrados o en usos humanos, ya sea para consumo o recreativo (Rock & Rivera, 2014).

2.4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Introducción por el hombre en el ambiente acuático (mares, ríos y lagos) de elementos abióticos o bióticos que causen efectos dañinos o tóxicos, perjudiquen los recursos vivos, constituyan un peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas (incluida la pesca), menoscaben la calidad del agua o disminuyan los valores estéticos y de recreación (Orta, 2002).

2.4.1. Tipos de contaminación según su origen

2.4.1.1. Natural.

Son muy dispersas y no provocan altas concentraciones de contaminantes, excepto en lugares muy concretos, relacionados con yacimientos minerales específicos (García, 2009). Los ejemplos de contaminación natural son desastres naturales, precipitaciones, procesos biológicos (Matovelle et al., 2019).

2.4.1.2. Antrópico.

Es producida a causa de las diversas actividades desarrolladas por el ser humano, las cuales son la principal fuente de contaminación de las aguas, ya que el desarrollo y la industrialización conllevan un mayor uso del agua y una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar a ésta. Las principales fuentes de contaminación de origen antrópico de las aguas son (García, 2009):

- Los vertidos de aguas residuales urbanas, como con las domiciliarias, las negras, y las de limpieza, fundamentalmente.

- Los vertidos de explotaciones ganaderas. Aportan estiércol y orines con contaminantes como microorganismos patógenos, sólidos en suspensión, materia orgánica, nitrógeno y fósforo.
- Los vertidos de aguas residuales agrícolas. Incluyen fertilizantes inorgánicos, estiércol y orines, otros abonos, plaguicidas diversos (DDT), herbicidas, sales del agua de riego, entre otros.
- Los vertidos industriales. Algunas industrias son especialmente contaminantes: la minera que genera aguas con mercurio, del refinado del petróleo, que genera aguas con cianuros, grasas, fenoles, sólidos, tóxicos diversos; la industria papelera, textil y de curtidos, que generan residuos químicos orgánicos, sólidos, detergentes y sustancias tóxicas, entre otras.

2.4.2. Tipos de contaminación según su localización

2.4.2.1. Puntual.

Son fuentes de contaminación puntual todas las descargas de contaminantes que afectan a zonas localizadas, por lo general los sitios que más sufren las consecuencias son los cuerpos de agua superficial. Este tipo de afección es fácil de localizar, monitorear, tratar y es más intensa en el lugar de origen y conforme avanza en el cuerpo receptor disminuye su concentración (Matovelle et al., 2019).

2.4.2.2. Difusa.

Las fuentes de contaminación difusa son aquellas que descargan contaminantes al agua superficial y subterránea en grandes áreas de terreno, por lo que no es fácil localizar un foco de contaminación. Esta situación genera graves problemas, con el paso del tiempo la contaminación alcanza zonas muy extensas que afectan al suelo y agua del lugar (Matovelle et al., 2019).

2.5. BIOMONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Por una parte el biomonitoreo de la calidad del agua pretende diagnosticar el estado de un ecosistema acuático (río, lago, humedal, estuario, etc.) desde un punto de vista integral, usando los organismos que los habitan como principales indicadores de su salud. Las comunidades biológicas que habitan los sistemas acuáticos reflejan las condiciones ambientales que se han mantenido en su pasado más reciente, por lo que, mediante su análisis, es posible conocer los efectos que los cambios generados por el

hombre tienen sobre los organismos, siendo, en este aspecto, mejores indicadores que los parámetros fisicoquímicos (Prat & Munné, 2014). Por otra parte, la evaluación de la calidad del agua está definida como el proceso completo de la evaluación de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, efectos humanos y usos adecuados (Chapman, 1996).

2.6. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA CON LA MACROFAUNA ACUÁTICA

La composición química del agua está relacionada con la capacidad que tiene esta de mantener elementos y sustancias en solución, importantes para el desarrollo de la microbiota. Los parámetros fisicoquímicos del agua determinados por factores ambientales influyen de manera directa en la diversidad de las comunidades de los macroinvertebrados. Algunos factores como la profundidad, pH, alcalinidad, dureza, iones de calcio, materia orgánica, contaminantes de tipo industrial y doméstico, determinando la abundancia relativa de las comunidades. La turbiedad, el color y los sólidos suspendidos afectan a los organismos que requieren directamente de las plantas para su alimentación debido a que estos reducen la entrada de los rayos solares suprimiendo la producción primaria (Gualdrón, 2018).

2.6.1. Turbiedad

Es el grado de opacidad en el agua debido a la presencia de material particulado en suspensión. La concentración de sustancias determina la transparencia del agua debido a que limita el paso de luz. Afectan directamente a los organismos, puesto que reduce su visibilidad; dificultando la alimentación y reduciendo la producción primaria de los organismos fotosintéticos (Gualdrón, 2018).

2.6.2. Potencial de hidrógeno-pH

Es un indicativo del grado de acidez, basicidad y alcalinidad del agua. Además, este parámetro origina variación en la composición de la fauna y flora de los cuerpos de agua e influye en el grado de toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, entre otros (Gualdrón, 2018).

2.6.3. Temperatura

Es una de las variables más significativas en los cuerpos de agua, sirviendo de indicativo de la estabilidad ecológica del sistema. Además, las variaciones de este

parámetro generan un cambio en el ambiente de desarrollo de la fauna y flora presentes en los cuerpos de agua; elevando el potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas en el agua (Gualdrón, 2018). “La temperatura afecta la eclosión de los huevos y la colonización y acelera el ciclo de vida de los insectos aunque algunos son buenos tolerantes a la misma” (Roldán, 1992).

2.6.4. Caudal

La variación del caudal del río es factor controlador de la abundancia y biomasa de la macrofauna, producto de sus variaciones temporales. Por lo tanto, en la época de menor caudal se posibilita la deposición del material particulado fino y un desarrollo abundante de la macrofauna. Durante los aumentos de caudal, el río efectúa una acción de lavado y transporte de todo el material depositado además de la migración de las especies (Bertrán et al., 2001).

2.7. BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

2.7.1. Macroinvertebrados acuáticos

Se llaman macro porque son grandes (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra: algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Por ejemplo, las moscas de piedra sólo viven en agua muy limpia y desaparecen cuando el agua está contaminada. No sucede así con algunas larvas o gusanos de otras moscas que resisten la contaminación y abundan en agua sucia (Carrera & Fierro, 2001).

2.7.1.1. Importancia de los macroinvertebrados en las redes tróficas.

Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y jugar un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas. Es decir, a nivel de grupo, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el río por los organismos fotosintéticos, como algas o briófitos, y la materia orgánica

procedente del ecosistema terrestre, fundamentalmente del bosque de ribera, y la van a transferir a los grandes vertebrados del ecosistema, representando la principal fuente de alimento de éstos, de manera que la alteración de la comunidad de macroinvertebrados de los ecosistemas fluviales va a afectar directamente a animales como peces, aves acuáticas o mamíferos semiacuáticos (Fernández, 2012).

2.7.1.2. Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos.

De acuerdo a (Roldán, 2003), indica que los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie, en el fondo del cuerpo de agua o nadar libremente; de ahí que reciben diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación que se detallan a continuación:

- Neuston

Son organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, sus patas y sus exoesqueleto están recubiertos por una especie de cera que los hace impermeables, así que en vez de hundirse, doblan la superficie del agua venciendo la tensión superficial. Entre los representantes están las familias Gerridae, Hidrometridae y Mesoveliidae (Figura 1-2).

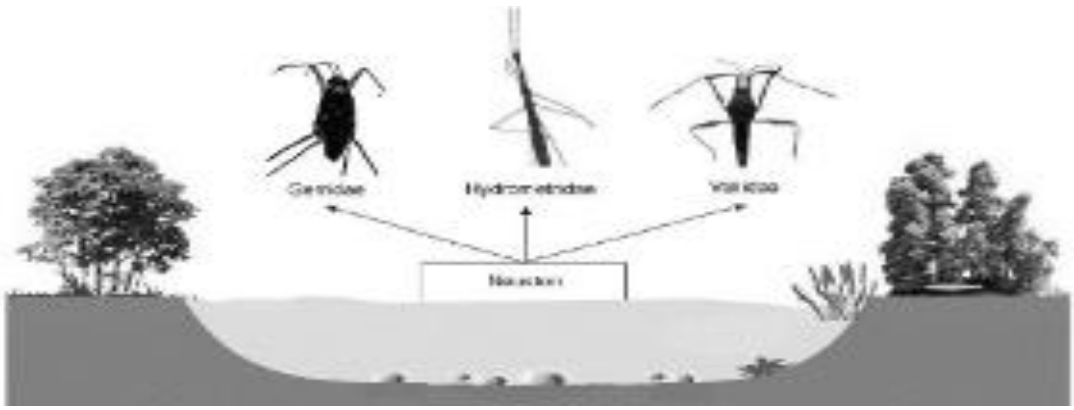


Figura 1-2. Macroinvertebrados representantes del neuston en un ecosistema acuático.
Fuente: Roldán, 2003.

- Necton

Está conformado por todos aquellos organismos que nadan libremente en el agua. Entre ellos se encuentran: Coroxidae y Notonectidae del orden Hemiptera; Dytisidae, *Gyrinidae* e Hydrophilidae del orden Coleoptera y Baetidae del orden Ephemeroptera (Figura 2-2).

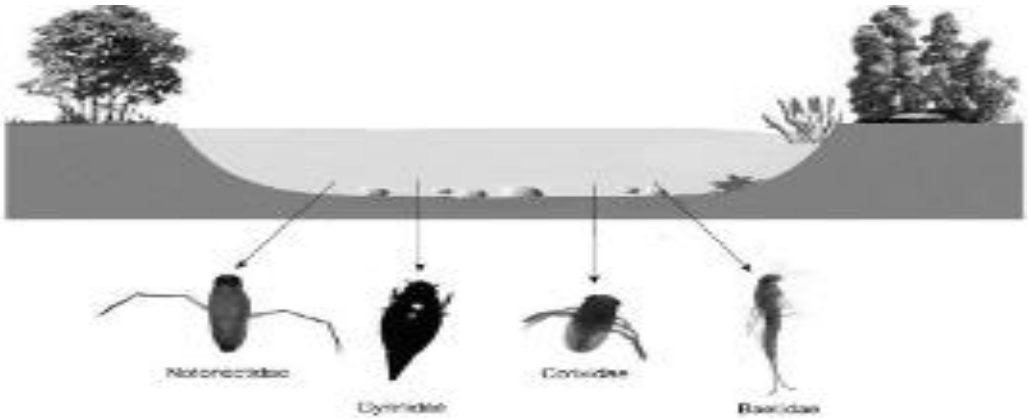


Figura 2-2. Macroinvertebrados representantes del necton en un ecosistema acuático.
Fuente: Roldán, 2003.

- Bentos

Organismos que viven en el fondo de los ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales ordenes representantes son: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Diptera. También puede encontrarse algunos entrerrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). Otros, como la familia Blephariceridae (Diptera), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonata se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente (Figura 3-2).

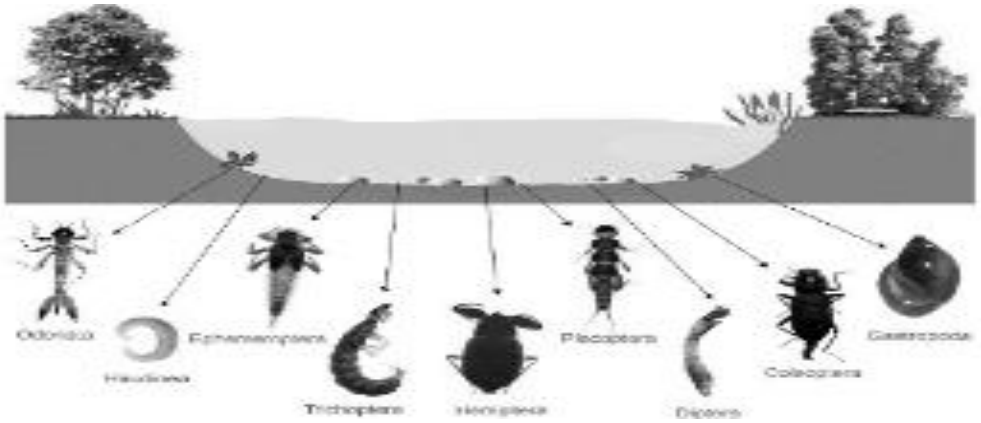


Figura 3-2. Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático.
Fuente: Roldán, 2003

2.7.1.3. Principales órdenes de macroinvertebrados.

- Orden Ephemeroptera

El orden de los efemerópteros (efímeras) es un grupo de frágiles insectos exclusivamente acuáticos y relativamente primitivos. Presentan una característica única

entre los insectos, la de poseer un estadio terrestre volador (el "sub-imago") previo al del adulto sexualmente maduro. Las efímeras forman una parte importante de las cadenas alimenticias en ríos y arroyos (como alimento para otros organismos acuáticos, procesadores de materia orgánica y como herbívoros), y son elementos importantes en la transferencia de energía dentro del sistema acuático. Las ninfas se encuentran en casi todo tipo de cuerpos de agua, aunque en mayor abundancia y diversidad en ríos y arroyos de fondos rocosos (Flowers & De la Rosa, 2010).

- Orden Plecoptera

El orden Plecoptera ("Plecos"="Plegar", "Pteros"="Alas"), también conocido como moscas de la piedra, es un grupo relativamente pequeño de insectos (Gutiérrez, 2010). Constituyen un orden con larvas exclusivamente acuáticas. El adulto presenta un vuelo torpe y suele pasar gran parte del tiempo entre las rocas, por lo que a los adultos de este grupo se les conoce con el nombre de "moscas de las piedras". Se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación, por lo que son ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del ecosistema acuático. Esta sensibilidad a las bajas concentraciones de oxígeno parece derivarse de la ausencia de grandes branquias, de manera que éstas pueden estar constituidas por finos filamentos en la base de las patas o incluso en el cuello. De acuerdo a su régimen alimenticio pueden ser fragmentadores de materia orgánica gruesa o depredadores (Fernández, 2012).

- Orden Trichoptera

El orden Trichoptera pertenece al grupo de órdenes de insectos, en los cuales la totalidad de las especies depende del medio acuático para su desarrollo. Los tricópteros son insectos holometábolos que están relacionados con los lepidópteros y los adultos asemejan pequeñas polillas. Sin embargo, sus piezas bucales no forman una proboscis, aunque poseen palpos bien desarrollados. Sus alas están cubiertas de pelos en lugar de escamas (aunque hay excepciones), característica que le da el nombre al orden (trichos: pelos; ptera: alas). Muchas especies de tricópteros poseen antenas sumamente largas y en reposo las alas se mantienen a menudo dobladas en forma de techo encima del cuerpo (Springer, 2010b).

- Orden Odonatos

Los odonatos engloban a los conocidos como libélulas y caballitos del diablo. Los adultos no se ven obligados a vivir en las inmediaciones del agua, pero las larvas son acuáticas sin excepción. Las larvas de odonatos son zoófagas, atacan a diferentes animales con los que comparten territorio, como oligoquetos, efemerópteros o dípteros e incluso pueden llegar a atacar a renacuajos y alevines de peces. Con este fin depredador, el labro está transformado en un órgano prensil o máscara dentada que es desplegado bruscamente y lanzado hacia adelante para capturar las presas, que quedan atrapadas en los ganchos móviles de las piezas bucales. Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, pero son más frecuentes en las zonas con poca velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o en pequeñas lagunas (Fernández, 2012).

- Orden Coleóptera

Constituyen el mayor grupo de insectos y, quizá, el más evolucionado. Únicamente el 15% de las especies aproximadamente son acuáticas. Esta adaptación al medio acuático puede tener lugar en diferentes etapas del ciclo vital, de manera que en algunos grupos las larvas y adultos son acuáticos, mientras que en otros sólo una de las dos fases. Presentan un régimen alimenticio muy variado y la calidad de las aguas no suele ser un factor determinante en la distribución de muchas familias de este grupo (Fernández, 2012).

- Orden Díptera

Este orden, también conocido como moscas verdaderas, es uno de los más ampliamente distribuidos y con mayor diversidad, en el que muchas especies presentan larvas acuáticas como los mosquitos y tábanos, entre otros. Algunas especies están adaptadas a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado frecuentemente como indicador de la misma (Fernández, 2012).

- Orden Hemípteros

Son un grupo de insectos caracterizados por poseer un aparato bucal chupador, dentro del cual alrededor del 10% de las especies son acuáticas. Una gran parte de familias viven sobre la superficie del agua, como los conocidos zapateros, y la mayoría son depredadores, que a menudo inoculan compuestos tóxicos en sus presas a través de sus estiletes maxilares. Presentan numerosas adaptaciones frente a la depredación, fundamentalmente de peces, como el hecho de vivir en la superficie del agua, el comportamiento gregario o la capacidad de saltar varios centímetros de algunas especies (Fernández, 2012).

2.7.1.4. Técnicas de colecta de macroinvertebrados.

Existen varias técnicas para colectar macroinvertebrados, sin embargo algunas presentan mayor sencillez y bajo costo. Antes de elegir cualquiera de las técnicas, se debe tomar en cuenta las condiciones del río, las facilidades del medio, las posibilidades y habilidades que tenga para elaborar ciertos materiales. Se debe utilizar la técnica elegida en todas las áreas seleccionadas, en igual tiempo y superficie (Carrera & Fierro, 2001).

- Capturas por red manual

Es una red sujeta a un marco metálico, que abierta tiene forma de L, para atrapar macroinvertebrados removiendo el fondo del río, comúnmente conocidas como red Surber. Se utiliza en ríos de poca profundidad, con corrientes más o menos torrentosas y fondo de piedras pequeñas, donde el agua no supere los 45 centímetros o el borde superior de una bota de caucho (Carrera & Fierro, 2001).

2.7.2. Macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua

Las siguientes son las razones por las cuales se consideran los macroinvertebrados como los mejores indicadores de calidad del agua: son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar; son sedentarios en su mayoría y, por tanto, reflejan las condiciones de su hábitat; son relativamente fáciles de identificar; representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo; proporcionan información para integrar efectos acumulativos; poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses) (Roldán, 2016). Las comunidades de macroinvertebrados presentan diferentes respuestas a la contaminación, por lo cual los científicos han

clasificado a cada macroinvertebrado con un número que indica su sensibilidad a los contaminantes. Estos números van del 1 al 10 (Anexo 1). El 1 indica al menos sensible, y así, gradualmente, hasta el 10, que señala al más sensible (Carrera & Fierro, 2001).

2.7.3. Índices bióticos

Son ampliamente utilizados en la evaluación de la calidad biológica de las aguas, en especial de los ríos. Estos índices asocian a los taxa presentes (familia, género, especie) con un valor numérico según su nivel de tolerancia. Este valor, a su vez es utilizado en conjunto con la riqueza taxonómica (índices cualitativos) o en combinación con las abundancias relativas (índices cuantitativos) para llegar a un valor final del índice (Springer, 2010a).

Entre los índices bióticos más utilizados tenemos:

- Índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party modificado para Colombia)

Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se necesita invertir. El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Anexo 2). Las familias más sensibles, como Perlidae y Oligoneuriidae, reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, como por ejemplo Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total de BMWP y se comparan con la tabla de calidad (Anexo 3) estableciendo los niveles de contaminación (Roldán, 2003). Su cálculo está determinado por la siguiente ecuación:

$$BMWP/Col = \Sigma Vi$$

Dónde:

BMWP/Col *= Índice biológico BMWP/Col para un sitio determinado*

Vi *= Valor constante de calidad de agua para la familia i (valor establecido del 1 al 10 para cada familia)*

- Índice de EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera)

Este análisis se aplica mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados: Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera, que son indicadores de la calidad del agua. Pueden ser vistos a simple vista y pasan mayor parte de sus vidas en aguas loticas. El índice se basa en la premisa de que los cursos de agua con agua de alta calidad generalmente tienen mayor diversidad de las especies, muchas especies de insectos acuáticos son intolerantes a la contaminación y por lo tanto no se encuentra en aguas contaminadas (Carrera & Fierro, 2001).

Su cálculo está determinado por la siguiente ecuación:

$$\%\,\boldsymbol{EPT} = \frac{\boldsymbol{Número\ de\ individuos\ de\ EPT}}{\boldsymbol{Número\ total\ de\ individuos}} * \mathbf{100}$$

De acuerdo al valor porcentual obtenido se indica la calidad de agua que van desde malas a muy buenas. El valor obtenido se compara con la tabla de rango de calidad de agua (Anexo 4).

2.7.4. Índice de diversidad de Shannon-Wiener

La diversidad de Shannon-Wiener toma en cuenta tres componentes: la riqueza de especies, su abundancia y la equitabilidad. El valor máximo suele estar cerca de 5, pero hay ecosistemas excepcionalmente ricos que pueden superarlo. Por tanto, un mayor valor del índice indica una mayor biodiversidad del ecosistema. La interpretación de este índice se la hizo en base a lo sugerido por Magurran (1988), quien indica que los valores menores a 1,5 se consideran como de diversidad baja, los valores entre 1,6 a 3 como de diversidad media y los valores iguales o mayores a 3,1 como de diversidad alta (Anexo 5) (Cardno, 2017). Su cálculo está determinado por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{H'} = -\sum(\boldsymbol{ni/n})\boldsymbol{Ln}(\boldsymbol{ni/n})$$

Dónde:

***H'*=** índice de diversidad
***ni*=** número de individuos por taxón en una muestra de una población
***n*=** número total de individuos en una muestra de una población
***Ln*=** logaritmo natural

CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio de la presente investigación se realizó en la microcuenca del río Cascales pertenece a la cuenca del Napo (Figura 1-3), forma parte del territorio de la provincia de Sucumbíos en las coordenadas UTM (253914 – 9162) a una altitud de 390 msnm. El río Cascales es afluente del río Aguarico, posee una longitud de 53.24 km y tiene una tendencia muy baja a las crecidas y se localiza en la parte central del cantón Cascales. El clima de la zona corresponde a cálido húmedo en casi todo su territorio. La temperatura varía entre los 16°C y los 30°C, mientras que la precipitación de acuerdo con los datos climáticos en la zona, es variada. Se presentan lluvias con promedios anuales superiores a los 3,000 mm (PDOT Cascales, 2015). De acuerdo al Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012), corresponde a un Bosque siempreverde piemontano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes.

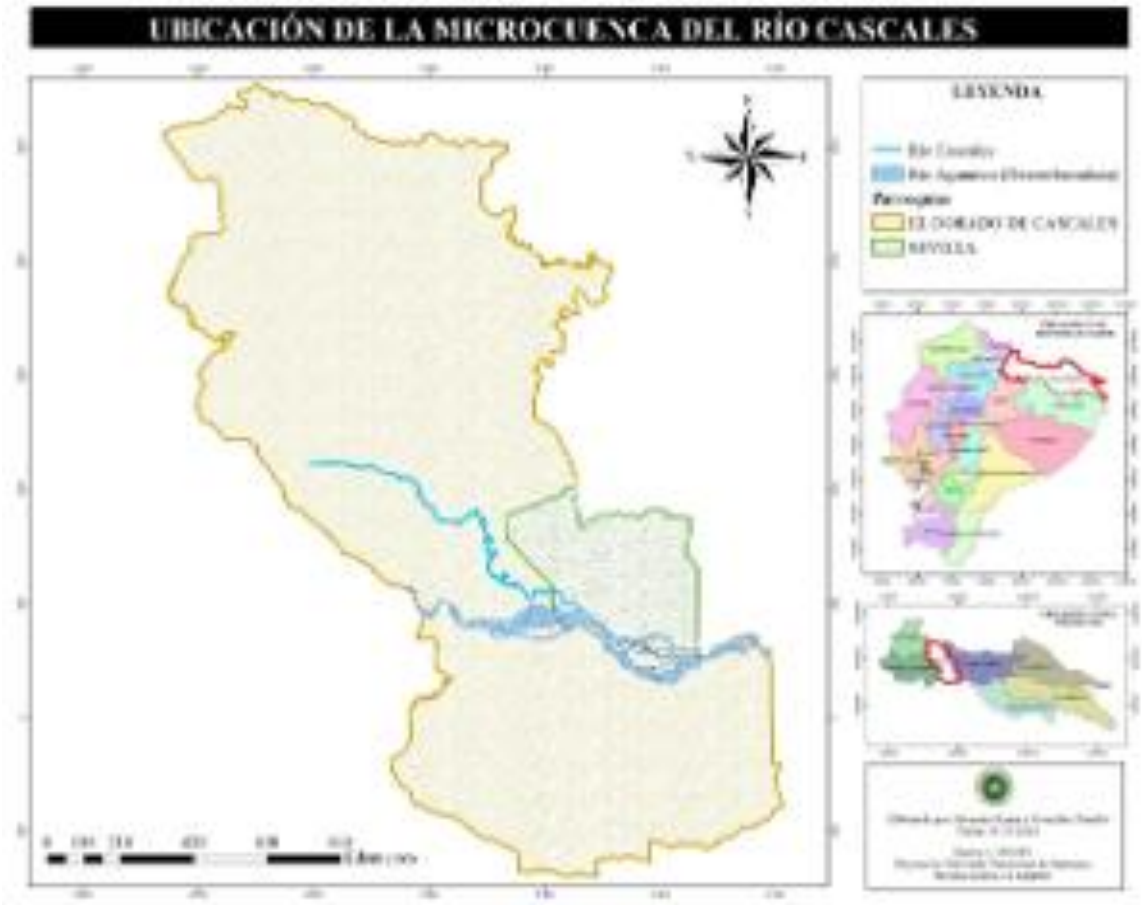


Figura 1-3. Ubicación de la microcuenca del río Cascales, provincia de Sucumbíos.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la clasificación propuesta por (Manosalvas, 2020), la investigación es de tipo no experimental con un diseño longitudinal, se basa en lo descriptivo correlacional, de campo y documental.

3.2.1. Investigación no experimental con diseño longitudinal

La investigación corresponde a este tipo debido a que se realizaron colectas de macroinvertebrados en tres periodos de evaluación, respectivamente en los meses de octubre, noviembre y diciembre, con el fin de analizar el comportamiento de la macrofauna en la estación seca y en la estación lluviosa.

3.2.2. Investigación descriptiva correlacional

La investigación se adecuo al nivel de descriptiva correlacional ya que los resultados de los índices BMWP, EPT y Shannon, fueron correlacionados con algunos parámetros físico-químicos para determinar la relación existente entre estos.

3.2.3. Investigación de campo

Para la continuación del proceso investigativo se requirió obtener información directa en el campo a través de muestreos in situ, cuyo proceso es fundamental para la caracterización de los macroinvertebrados en el río Cascales, así como también para la medición de algunos parámetros físico-químicos.

3.2.4. Investigación documental

La investigación documental se fundamentó en la consulta en libros, revistas científicas, PDOT y manuales de identificación, de esta manera se permitió formular la revisión de la literatura, metodologías en la identificación y cuantificación de macroinvertebrados.

3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Determinación de las fuentes de contaminación del río Cascales

3.3.1.1. Revisión Bibliográfica.

Para determinar los puntos de muestreo previo a la colecta de macroinvertebrados bentónicos, se realizó la revisión bibliográfica del área de estudio para determinar las actividades socioeconómicas que han afectado la calidad del agua del río, principalmente de la documentación y mapas establecidos en: Informes de la Agencia

de Regulación y Control Minero (ARCOM), Informes del Ministerio de Minería, los Planes de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Sucumbíos (PDOT Sucumbíos, 2015) y del Cantón Cascales (PDOT Cascales, 2015).

3.3.1.2. Selección de sitios de muestreo.

Para la selección de los sitios de muestreo en toda la trayectoria del río Cascales, se tomaron en cuenta los criterios de zonificación establecidos por Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cascales (GADM Cascales, 2015), que establece: microcuenca alta que inicia en el sector Bermejo, microcuenca media que inicia en el sector de la Voluntad de Dios y microcuenca baja que inicia en la desembocadura del río Aguarico, además se utilizó las recomendaciones establecidas por (Acosta et al., 2009) como: descargas que recibe un cuerpo de agua provenientes de aguas residuales domésticas o aguas industriales, que sea accesible para el ingreso del técnico y que permita la manipulación de los equipos (generalmente orillas con poca profundidad y corriente de agua). Los sitios seleccionados fueron registrados en la libreta de campo anotando su ubicación geográfica (UTM) y altitud mediante la utilización de un GPS, Para complementar el estudio, se realizó la descripción del estado hidromorfológico de los sitios seleccionados.

3.3.2. Identificación de las familias de macroinvertebrados, cálculo de índices y determinación de parámetros físico-químicos

3.3.2.1. Colecta de macroinvertebrados.

Para la colecta de macroinvertebrados acuáticos, se aplicó el método Kick Sampling propuesta por (Gamarra & Restrepo, 2013) . Previo a la colecta se evitó caminar sobre el lecho del área de muestreo por lo que se caminó aguas arriba para evitar perturbaciones en las muestras. Una vez ubicados en el sitio se introdujo la red Surber hasta el fondo del río siempre en sentido contrario a la corriente de agua, mientras por delante otro técnico procedió a remover el sustrato ya sea con sus manos o pies en un área de $2\ m^2$ (Figura 2-3). Este procedimiento se efectuó cuatro veces por cada sitio de muestreo, realizando dos a margen derecho y dos a margen izquierdo del río, con una duración de 5 minutos por cada muestreo.

Se realizaron tres colectas estacionales con intervalos de 20 días, con el fin de reflejar la época menos lluviosa comprendida en el mes de octubre y la época más

lluviosa comprendida en los meses de noviembre y diciembre de 2020. Las colectas se realizaron en horas de la mañana y antes de anochecer (09:00 y 17:00), ya que en esas horas la temperatura del agua y del entorno son las más adecuadas para que los macroinvertebrados bentónicos se encuentren en mayor actividad. Los macroinvertebrados colectados en la red se depositaron en una bandeja y con la ayuda de pinzas se colectaron a los especímenes, depositándolos en recipientes plásticos que contenían alcohol al 75%, cada frasco fue etiquetado para llevar su control.



Figura 2-3. Método Kick Sampling para la colecta de macroinvertebrados.

3.3.2.2. Determinación de parámetros físico-químicos

En cada sitio de muestreo se tomó una muestra de agua de río, las cuales se almacenaron en botellas de vidrio ámbar de 500 ml, cada una de estas fueron rotuladas, etiquetadas para su debido registro y control, posteriormente depositadas en una caja térmica para el mantenimiento de la temperatura ambiente. Para la obtención de la muestra se procuró no caminar sobre el área de muestreo así como también se evitó la formación de burbujas en el interior de la botella. Además se tomó in-situ el parámetro de temperatura del agua mediante un termómetro ambiental, el valor obtenido se anotó en la libreta de campo para su posterior registro (Figura 3-3).

La muestra de agua fue trasladada a las instalaciones de la planta de agua potable del GADM de Cascales y mediante el uso de un fotómetro se midió los parámetros de turbiedad y pH, para este último se usó el reactivo de rojo fenol (Figura 3-3).

Para la medición del caudal se empleó el método del flotador (Instituto Privado de Investigacion sobre cambio climatico, 2017), el cual se estandarizó para los seis sitios

de muestreo, los datos como ancho del perfil de entrada y salida, profundidades, tiempo y longitud se anotaron en la libreta de campo para su posterior cálculo (Figura 3-3).



Figura 3-3. Medición de parámetros físico-químicos.

3.3.2.3. Identificación taxonómica de los macroinvertebrados

La identificación y clasificación de los ejemplares de macroinvertebrados se realizó mediante la ayuda de claves taxonómicas de Domínguez & Fernández (2009) y Álvarez, (2005).

3.3.2.4. Estimación de calidad de agua a través del Índice Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col)

La determinación de calidad de agua mediante este índice se realizó identificando las familias presentes en cada sitio de muestreo. Este índice asigna un valor de 1 a 10 a las familias de macroinvertebrados (Anexo 2), tomando en cuenta la tolerancia que estas presentan a la contaminación, cuya suma de puntajes dará un valor de BMWP, el cual es comparado con los rangos de contaminación de agua (Anexo 3).

3.3.2.5. Estimación de calidad de agua a través del Índice EPT

Este índice determina la calidad de agua mediante la presencia y frecuencia de macroinvertebrados pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, cuyo valor es comparado con la tabla de interpretaciones de calidad (Anexo 4).

3.3.3. Determinación de la Diversidad de macroinvertebrados

Para determinar la diversidad de especies de macroinvertebrados se utilizó el índice de Shannon-Wiener (H´), que hace referencia al número de especies o taxa diferentes que conforman una comunidad (Shannon, 1948).

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL RÍO CASCALES

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero (Agencia de Regulación y Control Minero, 2020) en el cantón Cascales, se registra 83 puntos en donde las personas se dedican a la actividad minera, sin embargo sólo 5 presentan descargas en el río Cascales (Anexo 6). En cuanto al sistema de alcantarillado del cantón, el (PDOT Sucumbíos, 2015), indica que de las 526 viviendas del sector urbano, 455 realizan sus descargas al sistema de alcantarillado y el resto realiza sus descargas a pozos ciegos o sépticos; en cambio para las 1916 viviendas del sector rural, solo 334 viviendas tiene conexión con el sistema por lo que 1582 viviendas estrían realizando sus descargas en pozos ciegos o sépticos. El total de aguas residuales domésticas receptadas por el sistema de alcantarillado, se descargan sin tratamiento directamente al río Cascales.

Para verificar la información bibliográfica, se realizó una visita de campo por la trayectoria del río Cascales los días 6, 7 y 8 de octubre del 2020, de esta manera se identificaron 6 sitios en donde el río recibe descargas procedentes de la actividad minera y de aguas residuales domésticas, que se detallan a continuación:

Sitio 1. Zona alta. Se encuentra ubicado en el sector de Bermejo, el cual constituye una de las zonas de mayor producción y extracción de petróleo de la provincia de Sucumbíos. Fue seleccionado porque este sitio es considerado como la naciente del río Cascales, en donde aún no existen descargas de aguas residuales domésticas, sin embargo existe la presencia de una captación de aguas arriba que realiza la municipalidad del Dorado de Cascales para abastecer el acueducto de Bermejo. Actualmente en este sitio se está extrayendo oro con una draga tipo16 (Figura 1-4). En cuanto a las características hidromorfológicas presenta una corriente lenta, sustrato arenoso, agua cristalina sin olor, la vegetación rivereña es continua en las orillas, el lecho en las riberas presentan troncos, hojarasca y grandes rocas (Figura 2-4).



Figura 1-4. Actividad minera descubierta en el sitio 1 en el mes de noviembre.



Figura 2-4. Estado de contaminación del sitio 1 de la microcuenca del río Cascales**.**

Sitio 2. Zona media. Se encuentra ubicado en el sector de la Voluntad de Dios, fue elegido porque concentra un caudal elevado de aguas provenientes de la explotación minera ilegal que es realizada en este sector para la obtención del oro, de tipo cielo abierto (Figura 3-4), además fue considerado porque la imagen satelital del río Cascales nos muestra que en este sitio el agua comienza a presentar una elevada turbiedad debido a la extensión de este primer frente de explotación minera. En cuanto a las características hidromorfológicas presenta una corriente lenta, sustrato arenoso-arcilloso, agua turbia sin olor, la vegetación rivereña es discontinua, el lecho del río presenta grandes rocas con escasa presencia de hojarasca y troncos. Avistamiento de animales como cabeza de mate y huellas de capibara (Figura 4-4).



Figura 3-4. Frente de explotación minera ubicado en la Voluntad de Dios.



Figura 4-4. Estado de contaminación del sitio 2 de la microcuenca del río Cascales**.**

Sitio 3. Zona baja. Se encuentra ubicado en el sector de Cascales, fue considerado debido a que sus aguas son utilizadas por la población con fines recreativos, es el lugar que presenta mayor afluencia. Además de ello en este sitio se realiza una descarga de aguas residuales provenientes de la planta de agua potable y una vivienda, que se encuentran aledañas a la ribera del río. También es importante mencionar que en esta zona se realiza minería artesanal, así como también se da la extracción del mineral mediante la utilización de un chorro de agua a presión (Figura 5-4). En cuanto a las características hidromorfológicas presenta una corriente rápida, sustrato pedregoso-arenoso con gran cantidad de piedras pequeñas a las orillas, agua turbia con olor fétido,

la vegetación rivereña es discontinua en las orillas, el lecho del río no presenta hojarasca y troncos, sitio alterado por presencia de basura (Figura 6-4).



Figura 5-4. Extracción de oro con chorro de agua detectado en el sitio 3.



Figura 6-4. Estado de contaminación del sitio 3 de la microcuenca del río Cascales.

Sitio 4. Zona baja. Se encuentra ubicado en el sector de Cascales, fue considerado debido a que se producen descargas de aguas residuales de los aserraderos aledaños, esta agua residual pasa por un estero y posteriormente es vertida en el río Cascales. En cuanto a las características hidromorfológicas presenta una corriente rápida, sustrato arenoso-pedregoso, con gran cantidad de piedras medianas y pequeñas a las orillas, agua turbia sin olor, la vegetación rivereña es discontinua en las orillas, el lecho del río presenta hojarasca y troncos (Figura 7-4).



Figura 7-4. Estado de contaminación del sitio 4 de la microcuenca del río Cascales.

Sitio 5. Zona baja. Se encuentra ubicado en el sector Cascales, específicamente cerca del camal antiguo, fue seleccionado porque en este se producen descargas de aguas residuales provenientes del casco urbano el Dorado de Cascales, reflejando los efectos adversos de contaminación en sus características físicas (Figura 8-4). En cuanto a las características hidromorfológicas presenta una corriente lenta, sustrato fangoso-arenoso, agua turbia con olor fétido, la vegetación rivereña es discontinua en las orillas, el lecho del río contiene la presencia de troncos y residuos de rumen (Figura 9-4). Avistamiento de aves carroñeras.



Figura 8-4. Descarga de agua residual procedente del casco urbano.



Figura 9-4. Estado de contaminación del sitio 5 de la microcuenca del río Cascales**.**

Sitio 6. Zona baja. Se encuentra ubicado en la finca del Sr. Tulio García, específicamente en el km 35 de la vía Quito, constituye la parte final del trayecto del río, su importancia radica en la cercanía que este tiene a la desembocadura del río Aguarico. En cuanto a las características hidromorfológicas presenta una corriente lenta, sustrato arenoso-pedregoso, agua turbia sin olor, la vegetación rivereña es discontinua en las orillas. Actividad agrícola y ganadera en los márgenes del río (Figura 10-4).



Figura 10-4. Estado de contaminación del sitio 6 de la microcuenca del río Cascales.

A partir del punto 3, se pudo visualizar la presencia de basura en el río, esto se debe a que solo el 36% de las familias rurales del cantón, disponen del servicio de carro recolector de basura (PDOT Sucumbíos, 2015), sin embargo la presencia de residuos en las orillas del río es mucho más visible en el sector urbano.

Estos 6 sitios fueron considerados para realizar los muestreos de macroinvertebrados y poder establecer los índices de calidad de agua (Tabla 1-4 y Figura 11-4).

Tabla 1-4. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo estudiados en la microcuenca del río Cascales.

Microcuenca	Sitios de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m)
		X	Y	
Alta	Sitio 1	239852	17748	1031
Media	Sitio 2	249970	13545	452
Baja	Sitio 3	253999	9199	394
Baja	Sitio 4	254601	8843	378
Baja	Sitio 5	254630	8766	370
Baja	Sitio 6	257008	8814	378

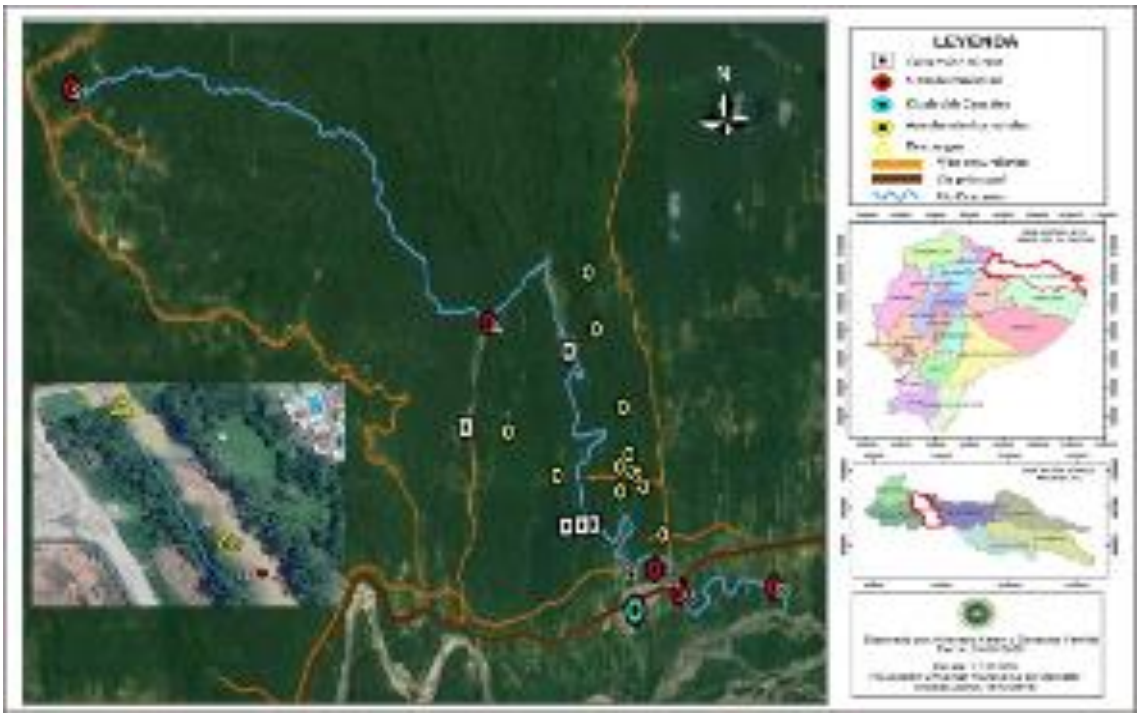


Figura 11-4. Sitios de muestreo en las fuentes de contaminación que recibe el río Cascales.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS, CÁLCULO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA Y PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

Durante los tres meses de monitoreo, de manera general se registraron un total 562 individuos, agrupados en 5 clases, 14 órdenes, 25 familias, 29 géneros, 31 especies, incluyendo dos morfoespecies no identificadas. Los órdenes taxonómicos más abundantes son: Ephemeroptera con 281 individuos; Odonata con 65 individuos y

Hemiptera con 58 individuos, el resto de órdenes presentan menos de 40 individuos (Tabla 2-4, Figura 12-4) (Anexo 6, 7 y 8). El porcentaje de individuos dentro del grupo EPT corresponde al 57.12%. La cantidad de familias que presentan valores de 8, 9 y 10 para el análisis BMWP/Col es de 9 y la cantidad de familias que tienen valores de 1 a 7 es de 16 (Figura 13-4).

Tabla 2-4: Comunidad de macroinvertebrados identificados en la microcuenca del río Cascales desde octubre hasta diciembre de 2020.

Clase	Orden	Familia	Género	Total
Clitellata	Hirudinida	Glossiphoniidae	*Morfoespecie*	2
	Haplotaxida	Naididae	*Limnodrilus sp*	39
Gastropoda	Basommatophora	Lymnaeidae	*Lymnaea rupestris*	1
Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus sp*	2
			Macrelmis sp	1
			Disersus sp	1
		Psephenidae	*Psephenops sp*	5
	Diptera	Tipulidae	*Hexatoma sp*	1
			Tipula sp	2
		Chironomidae	*Limnophyes sp*	10
		Psychodidae	*Psychoda sp*	2
		Euthyplociidae	*Euthyplocia sp*	10
			Campylocia sp	3
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	*Thraulodes sp*	233
		Baetidae	*Baetodes sp*	32
			Morfoespecie	3
	Hemiptera	Gerridae	*Eurygerris kahli*	42
		Nepidae	*Ranatra sp*	1
		Naucoridae	*Pelocoris sp*	4
		Corixidae	*Tenagobia sp*	11
	Lepidoptera	Crambidae	*Petrophila sp*	1
	Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus sp*	15
	Odonata	Coenagrionidae	*Argia sp*	16
			Acanthagrion sp	36
		Gomphidae	*Progomphus sp*	10
		Libellulidae	*Elasmothemis sp*	3
	Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria sp*	20
	Trichoptera	Philopotamidae	*Chimarra sp*	20
Arachnida	Araneae	Pisauridae	*Dolomedes sp*	1
Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium sp*	31
		Pseudothelpusidae	*Hypolobocera sp*	4
			Total de individuos	**562**

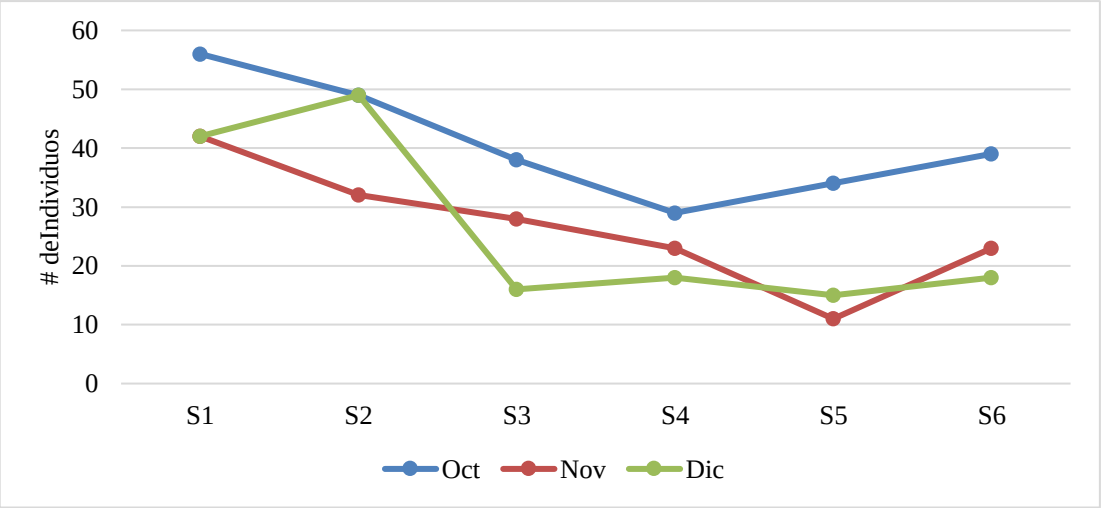


Figura 12-4. Abundancia de macroinvertebrados identificados en la microcuenca del río Cascales desde octubre hasta diciembre de 2020.

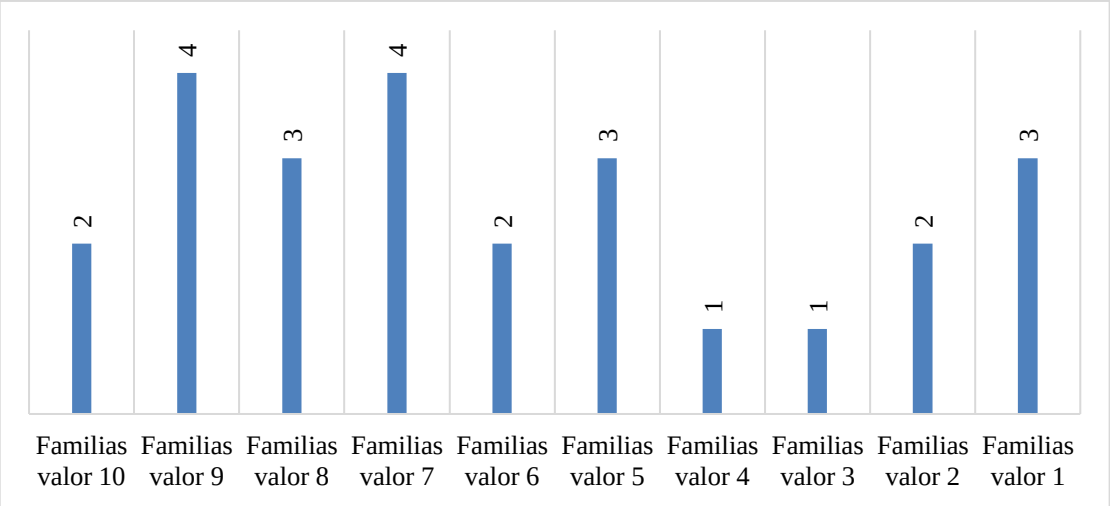


Figura 13-4. Cantidad de Familias agrupadas por la valoración de tolerancia de contaminación en el índice BMWP/Colombia.

En cuanto a los resultados mensuales y su relación con la calidad de agua, se realiza el siguiente análisis:

4.2.1. Análisis de resultados correspondientes al mes de Octubre 2020

Se colectaron 245 individuos, agrupados en 12 órdenes y 20 familias. Las familias taxonómicas más abundantes son: Leptophlebiidae con 93 individuos, Tubificidae con 26 individuos y Baetidae con 18 individuos (Tabla 3-4).

Tabla 3-4: Macroinvertebrados colectados en el mes de octubre de 2020.

Clase	Orden	Familia	Género	Octubre						
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	total
Clitellata	Haplotaxida	Naididae	*Limnodrilus* sp					26		26
Gastropoda	Basommatophora	Lymnaeidae	*Lymnaea rupestris*		1					1
Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus sp*						1	1
	Diptera	Tipulidae	*Hexatoma sp*						1	1
		Chironomidae	*Limnophyes sp*					7		7
	Ephemeroptera	Euthyplociidae	*Euthyplocia sp*	2	3					5
			Campylocia sp		2					2
		Leptophlebiidae	*Thraulodes sp*	9	28	21	17		18	93
		Baetidae	*Baetodes sp*	5			4		9	18
	Hemiptera	Gerridae	*Eurygerris kahli*	2	3					5
		Nepidae	*Ranatra sp*						1	1
		Naucoridae	*Pelocoris sp*			2				2
	Lepidoptera	Crambidae	*Petrophila sp*						1	1
	Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus sp*	6		2	1			9
	Odonata	Coenagrionidae	*Argia sp*	5	1	4	4		1	15
			Acanthagrion sp	1	10				4	15
		Gomphidae	*Progomphus sp*	3				1	1	5
		Libellulidae	*Elasmothemis sp*				1		1	2
	Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria sp*	8	1					9
	Trichoptera	Philopotamidae	*Chimarra sp*	3		9				12
Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium sp*	10			2		1	13
		Pseudothelpusidae	*Hypolobocera sp*	2						2
		Suma		56	49	38	29	34	39	**245**

El índice de Shannon indica que el S1 presenta el mayor valor de 2.29 que representa una diversidad media y el valor más bajo se encuentra en el S5 con un valor de 0.63 que indica una diversidad baja (Figura 14-4).

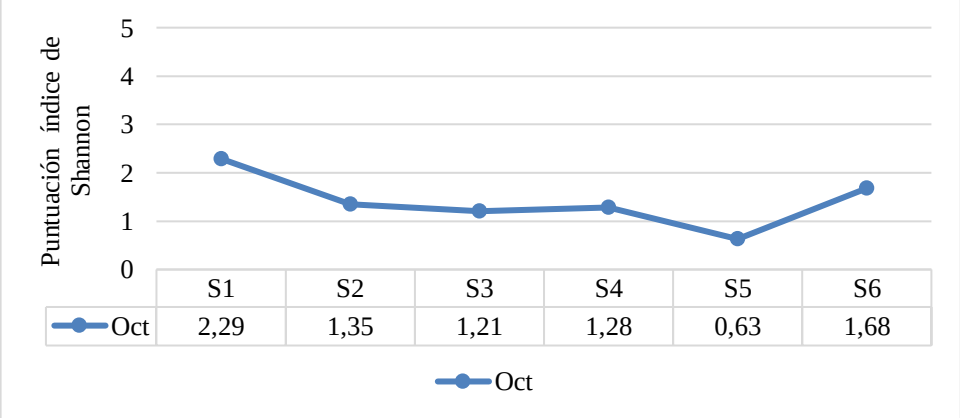


Figura 14-4. Índice de Shannon correspondiente al mes de octubre de 2020.

Para BMWP/Col indica que la mejor calidad de agua se encuentra en el S1 con un valor de 90 siendo aguas ligeramente contaminadas, esta calidad va disminuyendo hasta el S5 ya que presenta un valor de 12 siendo aguas fuertemente contaminadas, sin embargo, en el S6 previo a la desembocadura en el río Aguarico, la calidad aumenta a un valor de 67 que indica aguas ligeramente contaminadas (Figura 15-4).

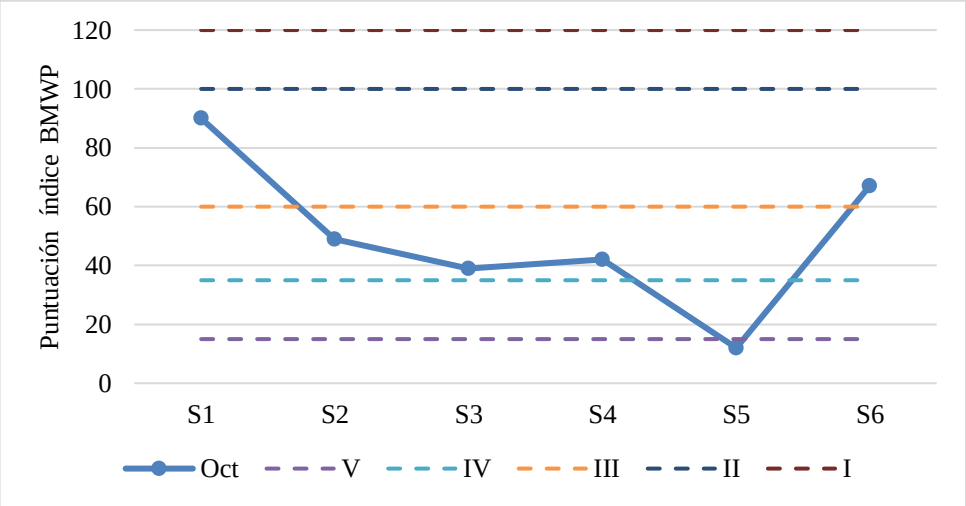


Figura 15-4. Índice BMWP/Col correspondiente al mes de octubre de 2020.

Para EPT indica que S1 tiene un valor de 48.21 siendo aguas de calidad regular, aumentando sus valores en S2 con 69.39 y S3 con 78.95 siendo aguas que van de calidad buena a muy buena; para los sitios S4 y S5 los valores disminuyen de 72.41 hasta 0 presentando aguas que van de buena a mala calidad, existe un aumento en el S6 con un valor de 69.23 presentando aguas de buena calidad (Figura 16-4).

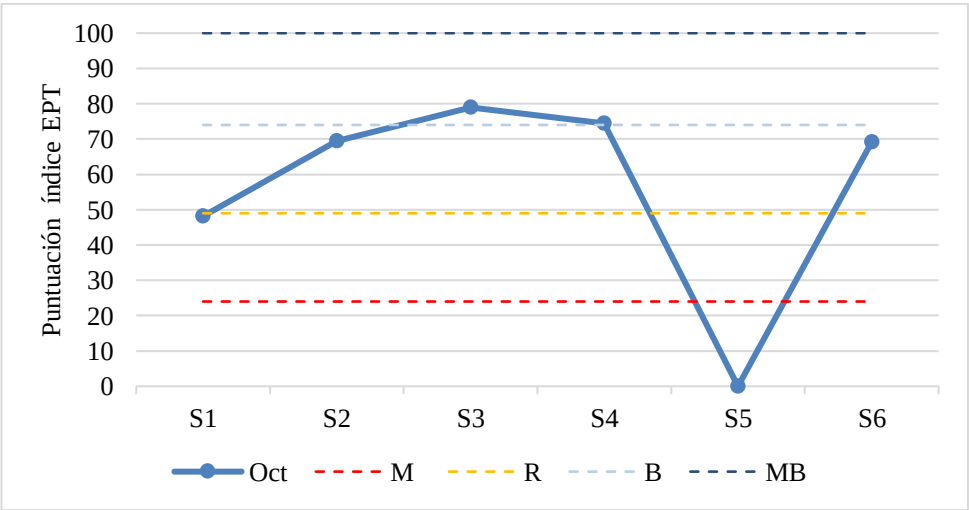
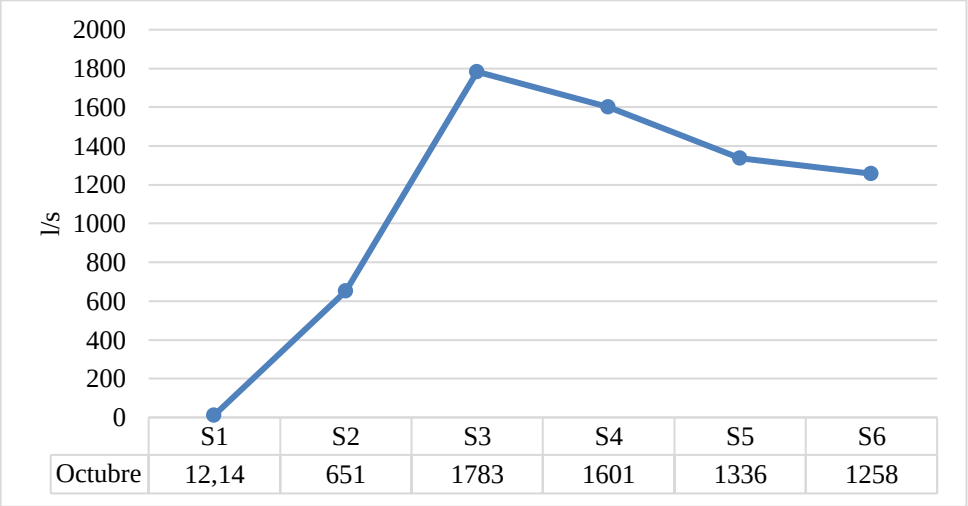


Figura 16-4. Índice EPT correspondiente al mes de octubre de 2020.

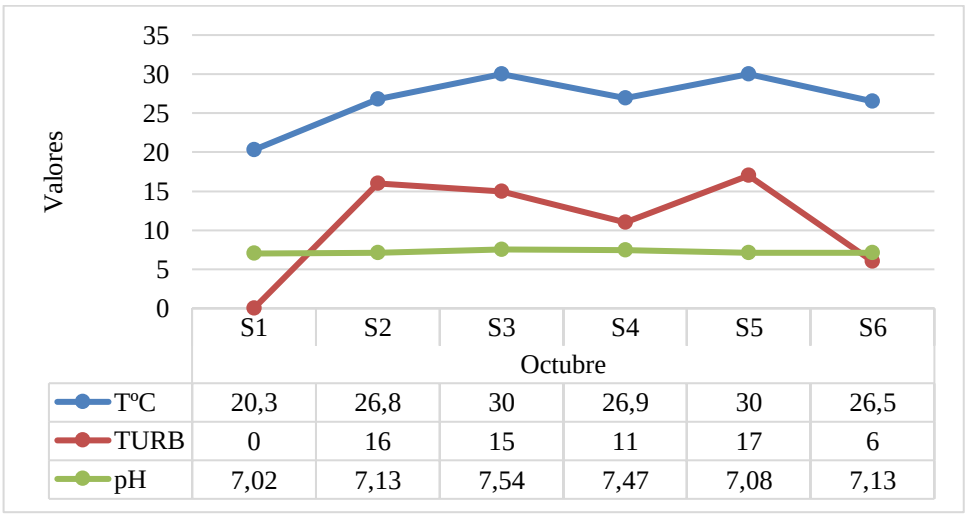
En cuanto a los valores de caudal, indica que S1 presenta el valor más bajo con 3.62 l/s, acumulando un máximo en el S3 con 1783 l/s y descendiendo en el S6 con un valor de 1258 l/s. (Figura 17-4).



	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Octubre	12,14	651	1783	1601	1336	1258

Figura 17-4. Caudal registrado durante el mes de octubre de 2020.

Para los parámetros físico-químicos, presenta una temperatura que oscila entre los 20.3ºC (S1) hasta los 30ºC (S3 y S5). En cuanto a la turbiedad la mayor concentración se registra en el S5 con 17 NTU y la mínima en el S1 con un valor de 0 NTU. Para los valores de pH se registra un máximo en S3 con un valor de 7.54 y un mínimo en S1 con un valor de 7.02 (Figura 18-4).



	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	Octubre					
TºC	20,3	26,8	30	26,9	30	26,5
TURB	0	16	15	11	17	6
pH	7,02	7,13	7,54	7,47	7,08	7,13

Figura 18-4. Concentración de parámetros físico-químicos registrado durante el mes de octubre de 2020.

4.2.2. Análisis de resultados correspondientes al mes de Noviembre 2020

Se colectaron 159 individuos, agrupados en 11 órdenes y 21 familias. Las familias taxonómicas más abundantes son: Leptophlebiidae con 65 individuos, Gerridae con 25 individuos, el resto de familias posee menos de 10 individuos (Tabla 4-4).

Tabla 4-4: Macroinvertebrados colectados en el mes de noviembre de 2020.

Clase	Orden	Familia	Género	Noviembre						
				S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**total**
Clitellata	Haplotaxida	Naididae	*Limnodrilus sp*					5		5
Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus sp*		1					1
			Macrelmis sp					1		1
		Psephenidae	*Psephenops sp*			1	1			2
	Diptera	Tipulidae	*Tipula sp*					2		2
		Chironomidae	*Limnophyes sp1*					1		1
		Psychodidae	*Psychoda sp*					2		2
		Euthyplociidae	*Euthyplocia sp*	1						1
			Campylocia sp	1						1
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	*Thraulodes sp*	14	24	14	11		2	65
		Baetidae	*Baetodes sp*	1		1	7		1	10
			Morfoespecie						3	3
	Hemiptera	Gerridae	*Eurygerris kahli*	6	4	2			13	25
		Naucoridae	*Pelocoris sp*				2			2
		Corixidae	*Tenagobia sp*						2	2
	Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus sp*	1		2				3
	Odonata	Coenagrionidae	*Acanthagrion sp*	3	1	3	1			8
		Gomphidae	*Progomphus sp*	2	1					3
		Libellulidae	*Elasmothemis sp*						1	1
	Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria sp*	3		1				4
	Trichoptera	Philopotamidae	*Chimarra sp*	1	1	2	1			5
Arachnida	Araneae	Pisauridae	*Dolomedes sp*	1						1
Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium sp*	7		2			1	10
		Pseudothelpusidae	*Hypolobocera sp*	1						1
		Suma		42	32	28	23	11	23	**159**

El índice de Shannon indica que el S1 presenta el mayor valor de 2.08 que representa una diversidad media y el valor más bajo se encuentra en el S2 con un valor de 0.91 que indica una diversidad baja (Figura 19-4).

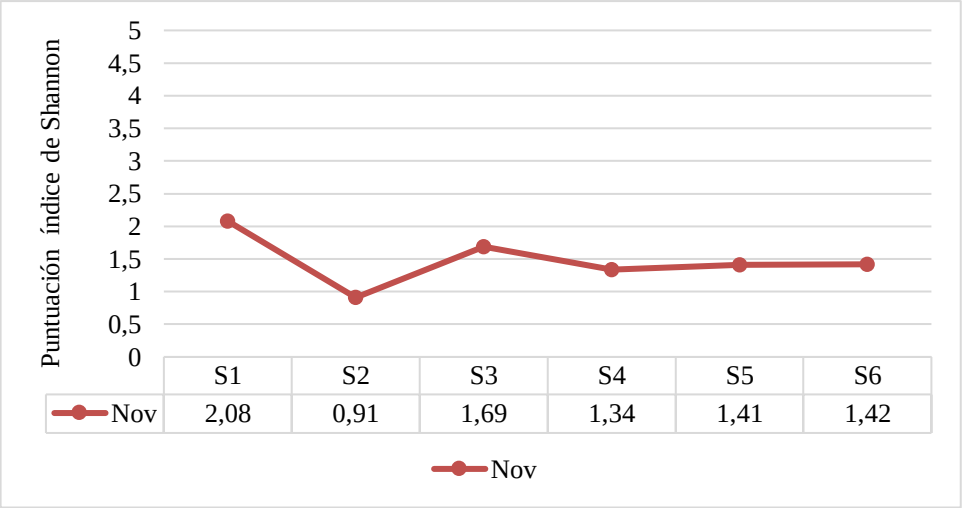


Figura 19-4. Índice de Diversidad correspondiente al mes de noviembre de 2020.

Para BMWP/Col indica que la mejor calidad de agua se encuentra en el S1 con un valor de 91 siendo aguas ligeramente contaminadas, esta calidad disminuye en S2 con un valor de 49 siendo aguas moderadamente contaminadas, aumentado el valor en S3 con 74 siendo aguas ligeramente contaminadas, descendiendo en S5 con una valor de 15 presentando aguas fuertemente contaminadas, sin embargo, en el S6 previo a la desembocadura en el río Aguarico, la calidad aumenta a un valor de 42 que indica aguas moderadamente contaminadas (Figura 20-4).

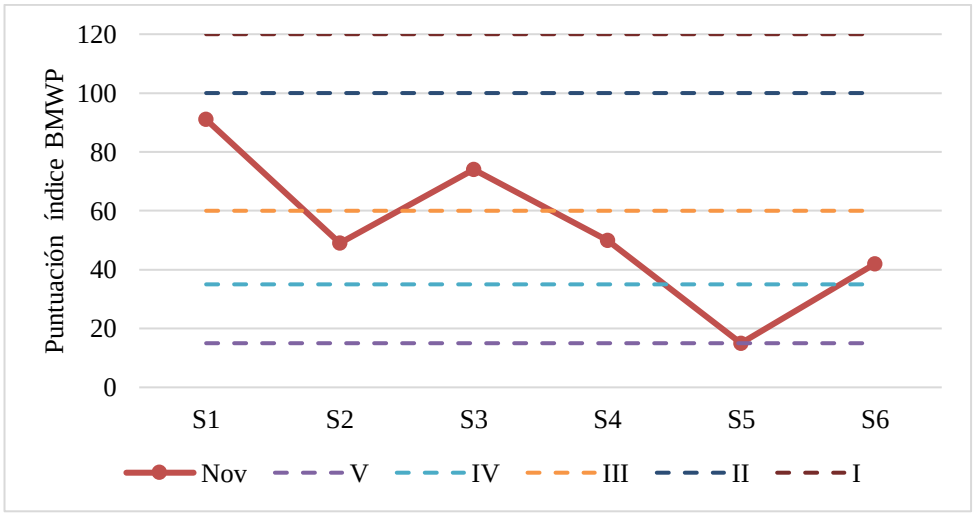


Figura 20-4. Índice BMWP/Col correspondiente al mes de noviembre de 2020.

Para EPT indica que S1 tiene un valor de 50 siendo aguas de buena calidad, aumentando sus valores en S2 con 78.13 siendo aguas de muy buena calidad, disminuyendo en S3 con un valor de 64.29 presentando aguas de buena calidad,

aumentando nuevamente en S4 con 82.61 siendo aguas de muy buena calidad, para el sitio S5 los valores disminuyen hasta 0 presentando una calidad mala, y finalmente existe un aumento en el S6 con un valor de 26.09 presentando una calidad regular (Figura 21-4).

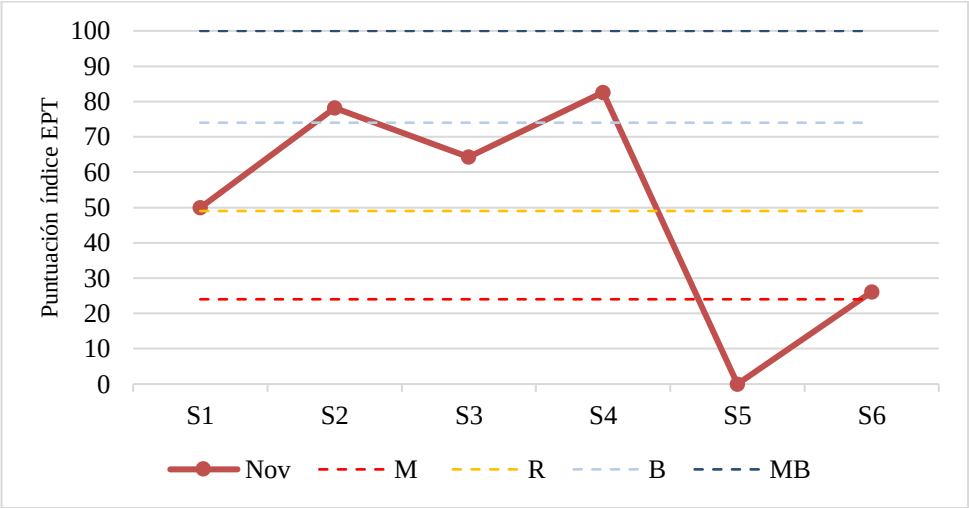


Figura 21-4. Índice EPT correspondiente al mes de noviembre de 2020.

En cuanto a los valores de caudal, indica que en S1 presenta el valor más bajo con 29 l/s, acumulando un máximo en el S4 con 6195 l/s, descendiendo en S5 con un valor de 3273 l/s aumentando en S6 previo a la descarga en el Aguarico con 5135 l/s (Figura 22-4).

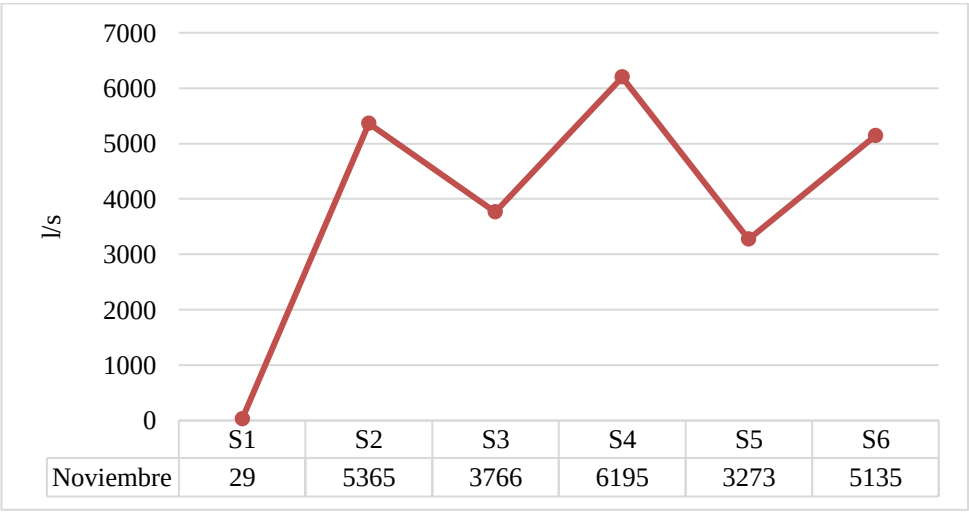
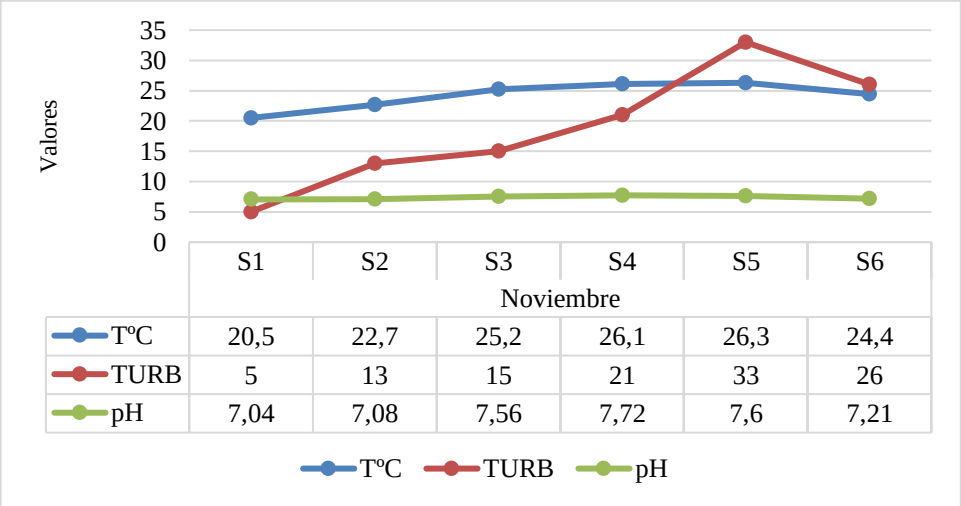


Figura 22-4. Caudal registrado durante el mes de noviembre de 2020.

Para los parámetros físico-químicos, presenta una temperatura que oscila entre los 20.5ºC (S1) hasta los 26.3ºC (S5). En cuanto a la turbiedad la mayor concentración se registra en el S5 con 33 NTU y la mínima en el S1 con un valor de 5 NTU. Para los valores de pH se registra un máximo en S4 con un valor de 7.72 y un mínimo en S1 con un valor de 7.04 (Figura 23-4).



	S1	S2	S3	S4	S5	S6
TºC	20,5	22,7	25,2	26,1	26,3	24,4
TURB	5	13	15	21	33	26
pH	7,04	7,08	7,56	7,72	7,6	7,21

Figura 23-4. Concentración de parámetros físico-químicos registrado durante el mes de noviembre de 2020.

4.2.3. Análisis de resultados correspondientes al mes de Diciembre 2020

Se colectaron 158 individuos, agrupados en 11 órdenes y 17 familias, las familias taxonómicas más abundantes son: Leptophlebiidae con 75 individuos, Coenagrionidae con 13 individuos y Gerridae con 12 individuos (Tabla 5-4).

Tabla 5-4: Macroinvertebrados colectados en el mes de diciembre de 2020.

Clase	Orden	Familia	Género	Diciembre						
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	total
Clitellata	Hirudinida	Glossiphoniidae	*Morfoespecie*			2				2
	Haplotaxida	Naididae	Limnodrilus sp1					8		8
Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Disersus sp*				1			1
		Psephenidae	*Psephenops sp*	1		1	1			3
	Diptera	Chironomidae	*Limnophyes sp1*					1	1	2
	Ephemeroptera	Euthyplociidae	*Euthyplocia sp*	2	1		1			4
		Leptophlebiidae	*Thraulodes sp*	17	39	8	10	1		75
		Baetidae	*Baetodes sp*		1		2		1	4
	Hemiptera	Gerridae	*Eurygerris kahli*	3	1	2		2	4	12
		Corixidae	*Tenagobia sp*					1	8	9
	Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus sp*	1		2				3

Clase	Orden	Familia	Género	Diciembre						
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	total
Malacostraca	Odonata	Coenagrionidae	*Argia sp*	1						1
			Acanthagrion sp	3	5		1	1	3	13
		Gomphidae	*Progomphus sp*	2						2
	Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria sp*	3	2	1	1			7
	Trichoptera	Philopotamidae	*Chimarra sp*				1	1	1	3
	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium sp*	8						8
		Pseudothelpusidae	*Hypolobocera sp*	1						1
		Suma		42	49	16	18	15	18	**158**

El índice de Shannon indica que el S1 presenta el mayor valor de 1.89 que representa una diversidad baja y el valor más bajo se encuentra en el S2 con un valor de 0.78 que indica una diversidad baja (Figura 24-4).

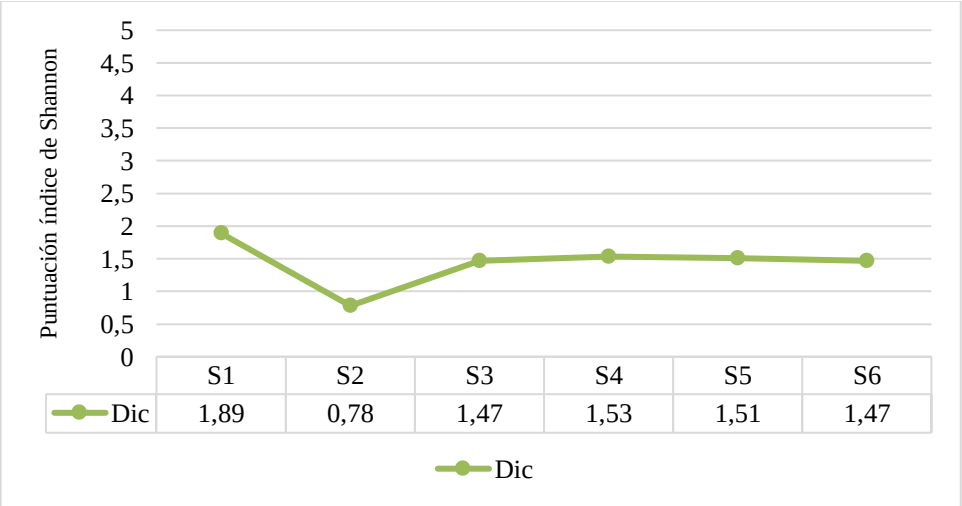


Figura 24-4. Índice de Diversidad correspondiente al mes de diciembre de 2020.

Para BMWP/Col indica que la mejor calidad de agua se encuentra en el S1 con un valor de 84 siendo aguas ligeramente contaminadas, esta calidad disminuye en el S2 hasta el S3 con un valor de 50 y 47 respectivamente siendo aguas moderadamente contaminadas, aumentado el valor en S4 con 68 siendo aguas ligeramente contaminadas, descendiendo su valor hasta S6 con una valor de 38 presentando aguas moderadamente contaminadas (Figura 25-4).

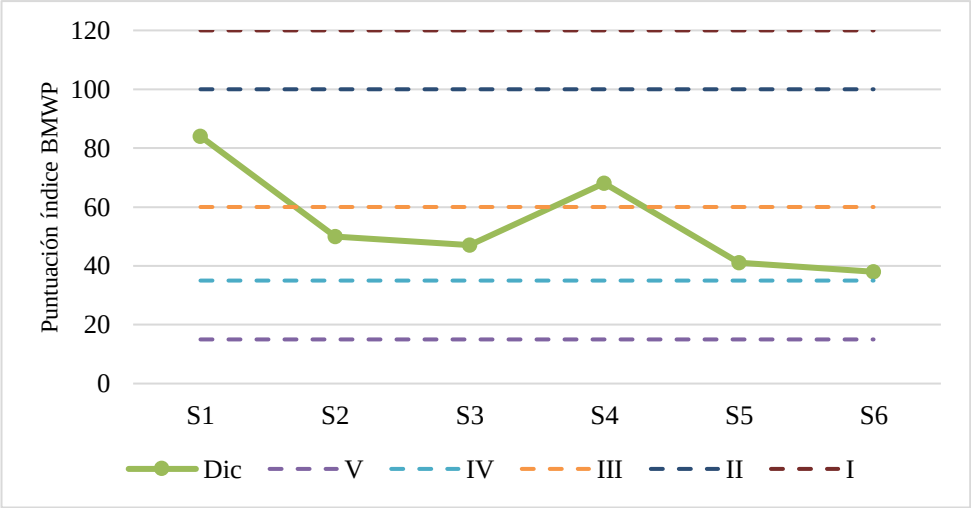


Figura 25-4. Índice BMWP/Col correspondiente al mes de diciembre de 2020.

Para EPT indica que S1 tiene un valor de 52.38 siendo aguas de calidad buena, aumentando su valores en S2 con 87.76 con aguas de muy buena calidad, para el S3 sus valores disminuyen a 56.25 siendo aguas de calidad buena, el valor nuevamente se eleva en S4 con 83.33 siendo aguas de muy buena calidad, los valores disminuyen en S5 y S6 con 13.33 y 11.11 respectivamente presentando una calidad mala (Figura 26-4).

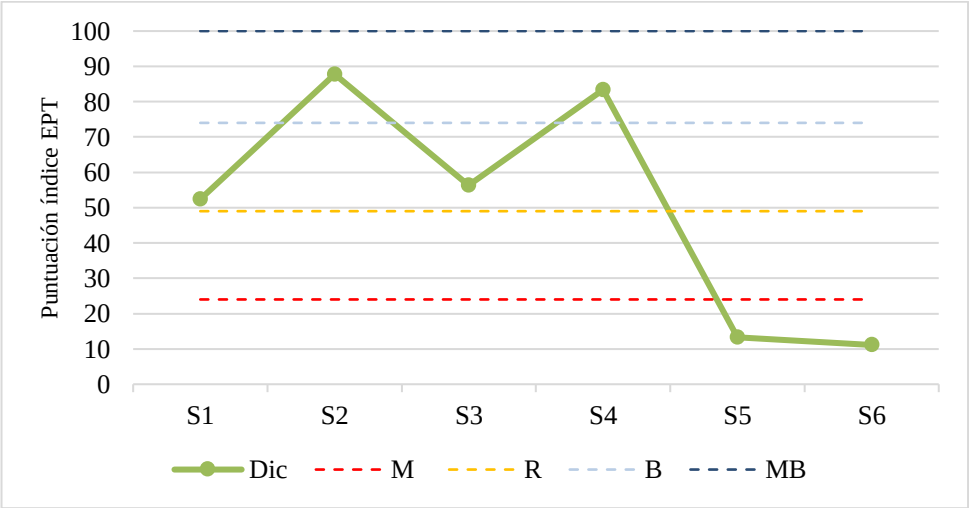


Figura 26-4. Índice EPT correspondiente al mes de diciembre de 2020.

En cuanto a los valores de caudal, indica que en S1 presenta el valor más bajo con 24 l/s, hasta registrar en el S3 un caudal de 5350 l/s, descendiendo en el S4 a 4300 l/s y llegando a un máximo de caudal en S6 con 6310 l/s, previo a la descarga en el Aguarico (Figura 27-4).

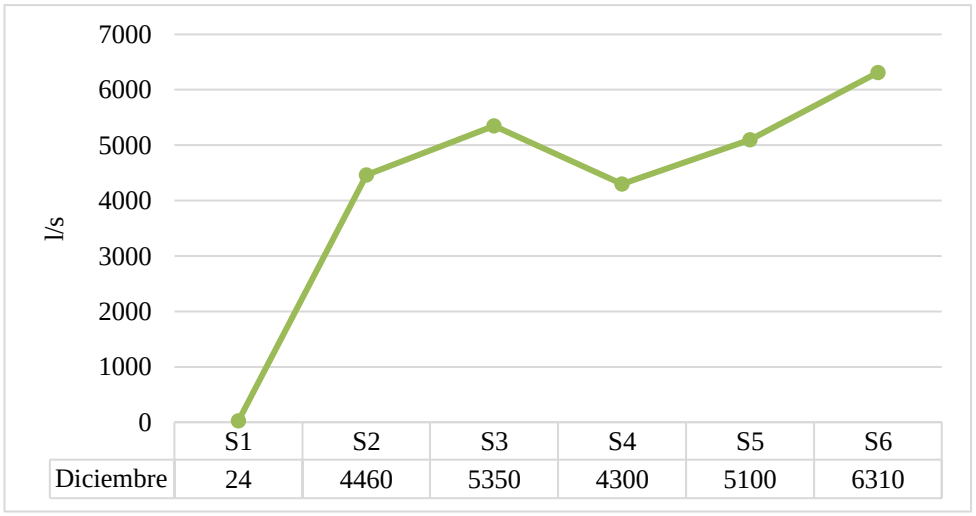


Figura 27-4. Caudal registrado durante el mes de diciembre de 2020.

Para los parámetros físico-químicos, presenta una temperatura que oscila entre los 20.6ºC (S1) hasta los 25.5ºC (S5). En cuanto a la turbiedad la mayor concentración se registra en el S3 con 129 NTU y la mínima en el S1 con un valor de 1 NTU. Para los valores de pH se registra un máximo en S4 con un valor de 7.59 y un mínimo en S1 con un valor de 7.1 (Figura 28-4).

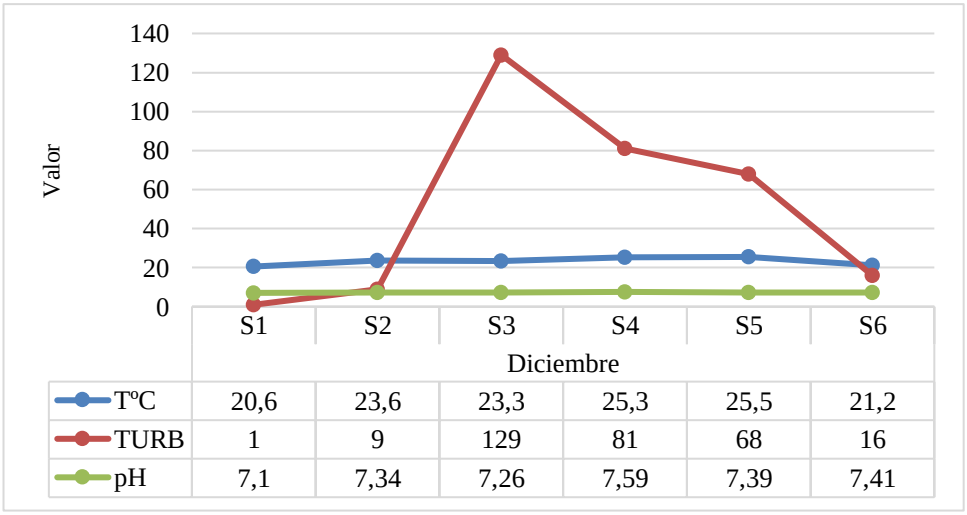


Figura 28-4. Concentración de parámetros físico-químicos registrado durante el mes de diciembre de 2020.

4.2.4. Discusión de resultados

La mayor cantidad de comunidades de macroinvertebrados se registra en los orígenes del río Cascales, los cuales van disminuyendo conforme el río avanza hasta la desembocadura en el río Aguarico. Esta variación gradual en las comunidades de

macroinvertebrados es normal, ya que de acuerdo a Roldán (1992), las condiciones del río van cambiando durante su trayecto por lo que la presencia de grupos de macroinvertebrados entre los orígenes de un río serán diferentes a los registrados en las partes más bajas, sin embargo, el río Cascales durante su trayectoria, recibe varios efluentes desde sus orígenes, algunos de ellos provenientes de las actividades mineras y descargas domésticas que inciden aún más en la variación gradual de las poblaciones de macroinvertebrados. Tal es el caso de los taxa de Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera que decrecieron aguas abajo principalmente en el S5, siendo reemplazado por los taxa del orden haplotaxida que son más tolerantes a la contaminación y han presentado un dominio respecto a los demás órdenes (Roldán, 2003).

La presencia significativa de la familia Perlidae perteneciente al orden Plecoptera en el S1 es relacionada con la existencia de aguas transparentes y oligotróficas con elevada oxigenación (Roldán, 1999), lo que además puede ser favorecido por las características hidromorfológicas del lugar, como la presencia de vegetación ribereña continua y baja profundidad del lecho.

Con respecto a los organismos llama la atención la predominancia del orden Ephemeroptera en el S2 (receptor de aguas procedentes de la minería), principalmente de la familia Leptophlebiidae la cual es calificada por el BMWP/Col (Roldán, 2003) como indicador de buena calidad de agua es decir que no aceptan contaminantes, pero que para Ecuador esta cualificación es cuestionable ya que como ha demostrado la experiencia en países templados, los valores de tolerancia debería revisarse a medida que se disponga de más datos y se conozca mejor la fauna de agua dulce (Flowers, 2009).

Respecto a la calidad del agua según el índice de BMWP/Col, se observa que la mejor calidad se encuentra en el S1 en todos los meses de muestreo y el sitio con menor calidad en el S5 principalmente en octubre y noviembre, sin embargo en el mes de octubre para el S6 hay una recuperación significativa de calidad, puesto que hay menor presencia de malos olores y una menor turbidez en relación con el sitio anterior, otro factor contribuyente podría ser la no presencia de descargas u otras fuentes significativas de aporte de materia orgánica a lo largo de los 3,3 km de distancia entre los sitios. No obstante la calidad del agua según el índice EPT para el S1 es regular

mientras que los demás sitios presentan una calidad de muy buena a regular, esta variación entre índices bióticos se debe principalmente a que el EPT únicamente considera su valoración a nivel de ordenes mientras que el BMWP considera a nivel de familias, por tanto es más específico y más confiable.

La mayor cantidad de poblaciones de macroinvertebrados se registra en el S1 en los meses de octubre con 56 individuos y noviembre con 42 individuos, pero para el mes de diciembre la mayor población se registra en el S2 con 49 individuos en relación con S1 que presenta 42 individuos, este aumento de población podría estar influenciado en los aumentos de caudales siendo bajos en octubre y aumentando en noviembre y diciembre, por lo que las especies de macroinvertebrados, principalmente los del orden Ephemeroptero (que presentan adaptaciones taxonómicas para sobrevivir en ríos lóticos), para el mes de diciembre en el S2 se pudieron adaptar a los aumentos de caudal. Esta adaptación de las poblaciones al aumento de caudal también se da en el S5 del mes de octubre y en el S6 de noviembre y diciembre, ya que en estos puntos hay un aumento de caudal proveniente de las descargas urbanas.

Los valores más altos de Shannon se registran en S1 siendo el más alto en el mes de octubre con 2.29 y los más bajos en S2 del mes de diciembre con 0.78 y en S5 del mes de diciembre con 0.63. Estos valores bajos están relacionados con los sitios en donde hay contacto inicial de descargas mineras en S2 y descargas urbanas en S5.

En cuanto a los parámetros físico-químicos del agua del río, se puede observar que existe un gran incremento de caudal en el S2, principalmente en los meses de noviembre y diciembre llegando a incrementarse hasta más de 100 veces, este aumento ha incidido en la ausencia o presencia de las poblaciones de macroinvertebrados; sobre la temperatura los mayores valores se registran en los puntos S3 y S5 con 30°C mientras que los menores valores se registran en el S1 y para el parámetro de turbiedad, el valor de mayor concentración se registra en S3 del mes de diciembre con 129 NTU lo que podría atribuirse a una alta precipitación, lo cual evidencia la acción de arrastre de sedimentos que ejerce la escorrentía superficial por lluvia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a la revisión bibliográfica y a la visita de campo, se determinaron seis sitios en donde se producen descargas al río Cascales, los cuales, en su mayoría son aguas residuales industriales producidos por la fuerte actividad minera que existe en el cantón, sumado a las descargas de aguas residuales domésticas producidas por 1582 familias. Además existe la costumbre de la población en arrojar los desechos al río tanto en el sector urbano como rural.

De las 24 familias de macroinvertebrados registradas, nueve tienen una puntuación alta para ser consideradas como excelentes bioindicadores, por tal razón el índice BMWP/Col de manera general indica que las aguas del río Cascales, en la mayoría de meses y sitios de muestreo, presenta algún grado de contaminación, principalmente en el S5 en donde el río ha acumulado contaminación provenientes de las aguas residuales de la minería sumado a las descargas de las aguas residuales domésticas, sin embargo, en la zona alta la calidad de agua no presenta mayor contaminación ya que presenta valores que van de 80 a 91. Por otro lado el índice EPT indica, de manera general, que las aguas del río son de buena calidad ya que, de los 562 individuos colectados, 321 están dentro de los órdenes Ephemeropthera, Trichopthera y Plecopthera, siendo registrados principalmente en los sitios 2, 3 y 5, pero al contrario de la realidad visual de contaminación que presenta el río, estos sitios son los que mayor contaminación presentan, por lo que este porcentaje elevado de EPT se daría debido a que ciertos individuos del orden Ephemeroptera suelen adaptarse a los niveles de contaminación (Dominguez & Fernández, 2009).

En cuanto al índice de Shannon, la diversidad de macroinvertebrados acuáticos, en el río Cascales presenta de manera general una diversidad baja ya que los valores obtenidos en los sitios de muestreo son menores a 2.5 a pesar de que las condiciones como características hidromorfológicas, temperatura, pH y turbiedad se encuentran en rangos o condiciones óptimos para la vida de los ecosistemas acuáticos (Pérez & Rodríguez, 2008). Sin embargo existe la posibilidad de que los niveles de caudal incidan con las poblaciones de macroinvertebrados, como se mencionó en el análisis de resultados, el río Cascales en la zona alta pierde parte de su caudal, debido a que el municipio capta estas aguas para abastecer el acueducto de Bermejo y al momento que

recupera caudal, lo hace con aguas residuales provenientes de la actividad minera, por lo que afecta considerablemente a las poblaciones de macroinvertebrados que se encuentran en el S2 además pueden existir otros factores como metales (Cr^6, Hg, Fe, Al, entre otros), cianuro, cloruros, sulfatos, nitratos, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno que incidan negativamente en las poblaciones de macroinvertebrados.

Cabe indicar que muchas de las concesiones mineras ilegales del cantón han dejado de funcionar desde marzo del presente año, por lo que las descargas de aguas residuales de esta actividad han disminuido considerablemente (Agencia de Regulación y Control Minero, 2020), por lo que se recomienda lo siguiente:

- Implementar un sistema de monitoreo continuo de las aguas del río Cascales, colectando muestras mensualmente para poder determinar de mejor manera las variaciones de calidad de agua que se puedan presentar por diversos eventos en el transcurso del año, utilizando únicamente el índice BMWP/Col.
- Implementar el análisis de parámetros físico-químicos para poder sustentar los valores de los índices de calidad así como para poder determinar los diferentes usos del agua de acuerdo a lo establecido en el Código Orgánico del Ambiente del Ecuador.
- Implementar un programa de Educación Ambiental para el cuidado de las aguas y riberas del río Cascales, dirigido principalmente a la Unidad Educativa del cantón.

REFERENCIAS

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

Agencia de Regulación y Control Minero. (2020). *Se desmantela campamentos de minería ilegal en Cascales, Sucumbíos*. http://www.controlminero.gob.ec/se-desmantela-campamentos-de-mineria-ilegal-en-cascales-sucumbios/

Ballesteros, A. O., González, F. O., Niño, J. M., Gutiérrez-Fonseca, P. E., Böcher, J., & Kristensen†, N. P. (2015). Investigación científica y sociedad. De la construcción del objeto de estudio a la complejidad interdiciplinaria en la ciencia. *Revista de Biologia Tropical*, *58*(SUPPL. 4), 330. https://doi.org/10.1163/9789004261051_008

Bertrán, C., Arenas, J., & Parra, O. (2001). Macrofauna del curso inferior y estuario del río Biobío (Chile): cambios asociados a variabilidad estacional del caudal hídrico. In *Revista chilena de historia natural* (Vol. 74, Issue 2). https://doi.org/10.4067/s0716-078x2001000200010

Cabrera, H., Garcés, M., & Paredes, P. (2012). Proyecto de desarrollo de capacidades para el uso seguro de aguas servidas en agricultura. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Ministerio de Salud Pública EMAPAG-EP*, 1–12.

Carrera, C. R., & Fierro, K. P. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua* (Primera). Ecociencia. https://drive.google.com/file/d/1FWdXNqUUjEaVwLa32C11OYeR3FNbhA51/view

Chapman, D. (1996). *Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los macroinvertebrados bénticos*. Universidad de los Andes.

Dominguez, E., & Fernández, H. R. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y Biología* (1a ed.).

Fernández, R. L. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado

ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental*, 24–29.

Flowers, R. (2009). A new species of Thraulodes (Ephemeroptera : Leptophlebiidae , Atalophlebiinae). *Zootaxa*, *61*, 55–61.

Flowers, R., & De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista de Biologia Tropical*, 63–93. https://doi.org/10.1163/9789004261051_008

Gamarra, Y., & Restrepo, R. (2013). Metodología para la Formación de Estudiantes de Ingeniería ambiental utilizando índices fisicoquímicos y biológicos para determinar calidad de agua en la Quebrada Menzuli (Santander, Colombia). *Revista AIDIS*, *6*(1), 37–45.

García, M. (2009). La hidrosfera. El ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración. El problema de la escasez del agua. *Biología y Geología*.

Gualdrón, L. E. (2018). Evaluación de la calidad de agua de ríos de colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinamica Ambiental*, *1*, 83–102. https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593

Gutiérrez, P. F. (2010). Capítulo 6. Plecoptera. *Revista de Biologia Tropical*, *58*(SUPPL. 4), 139–148.

Instituto Privado de Investigacion sobre cambio climatico. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. 24. https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf

Liévano, A., & Cadena, L. Á. (2020). Valores y principios bioéticos que identifican las comunidades en los servicios ecosistémicos que prestan los ríos y quebradas. *Revista Colombiana de Bioética*, *15*(1), 1–26. https://doi.org/10.18270/rcb.v15i1.2745

Lozano, M. Q., Martinez, F. L., & Pujante, A. (1996). Estudio de los macroinvertebrados y calidad de las aguas de los pequeños ríos y arroyos de las comarcas de la provincia de Valencia: L'Horta, La Foia de Bunyol y La Ribera Alta. *Ecologia*, *10*, 137–159.

Lúcia, A. N. A., Riveaux, M., & Cordero, M. (2005). Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cub para ríos cubanos. *Tecnura*, *9*(17), 65–76.

Matovelle, C., Martinez, A., & Astudillo, L. (2019). Sistemas de Información Geográfica en la protección del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay, Ecuador. *Killkana Técnica*, *3*(2), 1–10. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i1.256

Mediavilla, J. (2019). Evaluación del impacto socio-ambiental causado por actividades mineras en la parte baja de la microcuenca del río Cascales, Provincia de Sucumbíos. *Universidad Técnica Del Norte*, *4*(1), 75–84. https://doi.org/.1037//0033-2909.I26.1.78

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Leyenda Ecosistemas Ecuador 2. *Subsecretaría de Patrimonio Natural*, 186. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf

Mosquera, Z., & Mosquera, M. M. (2017). Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan, Chocó – Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *20*(1), 149–161. https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.72

Muñoz, S., Narango, C., Garcés, G., González, D., Musle, Y., & Rodríguez, L. (2003). Evaluación De La Calidad Del Agua Utilizando Los Macroinvertebrados Bentónicos Como Bioindicadores. *Revista Chapingo : Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *9*(2), 147–153.

Orta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*, *6*(3), 55–62.

PDOT Cascales. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Cascales*.

PDOT Sucumbíos. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Nueva Loja-Sucumbios-Ecuador*.

Pérez, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Indice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biologia Tropical*, *56*(4), 1905–1918. https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5769

Prat, N., & Munné, A. (2014). Biomonitoreo de la calidad del agua en los ríos ibéricos: lecciones aprendidas. *Limnetica*, *33*(1), 47–64.

Rocha, Z., & Cuéllar, L. (2019). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en áreas restauradas de la quebrada La Colorada, municipio de Villa de Leyva, Colombia. *Revista Científica de La Facultad de Ingeniería*, 13–21.

Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. *The University of Arizona - College of Agriculture and Life Sciences - Cooperative Extension*, 1–5. https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf

Rodriguez, L., Ríos, P., Espinosa, M., Cedeño, P., & Jimenez, G. (2016). Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana. *Hidrobiologica*, *26*(3), 497–507. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.148

Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología tropical* (Universidad de Antoquia (ed.); 1°).

Roldán, G. (1999). Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del Agua. *Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales*, *23*(88), 375–387. https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000200012

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia* (Primera ed). Universidad de Antoquia. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZEjgIKZTF2UC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Roldan,+G.+(2003).+Bioindicacion+de+calidad+de+agua+en+Colombia.+Antioquia.&ots=lMo01AFvOL&sig=gWqFrcblJ0eV2L3HIUtgTUGglmg#v=onepage&q&f=false

Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamerica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *40*(155), 254.

https://doi.org/10.18257/raccefyn.335

Secretaría Nacional del Agua, Agencia de Regulación y Control del Agua, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud Pública, & Agencia Nacional de Regulación y Control Sanitario. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Ministerio de Ambiente, Ecuador*, 97.

Springer, M. (2010a). Capítulo 3. Biomonitoreo acuático. *Revista de Biologia Tropical*, *58*(SUPPL. 4), 53–59.

Springer, M. (2010b). Capítulo 7. Trichoptera. *Revista de Biologia Tropical*, *58*(SUPPL. 4), 151–198.

Vellosa, M., Massaine, G., Souza, M. de, Solis, L., Galarza, E., Tuba, D., Carpintero, N., Herrera, V., & Avila, I. (2019). Un enfoque integrador para identificar los impactos de múltiples fuentes de contaminación por metales en el piedemonte andino oriental de la Amazonía ecuatoriana. *Ciencia Del Medio Ambiente*, *709*.

ANEXOS

Anexo 1. Puntuaciones de sensibilidad de los macroinvertebrados a los contaminantes.

Sensibilidad	Calidad de agua	Calificación
No aceptan contaminantes	Muy buena	9-10
Aceptan muy pocos contaminantes	Buena	7-8
Aceptan pocos contaminantes	Regular	5-6
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	3-4
Aceptan muchos contaminantes	Muy mala	1-2

Fuente: Carrera & Fierro, 2001.

Anexo 2. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice BMWP/Col.

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelpusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydridae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae	2
Haplotaxida, Tubificidae	1

Fuente: Roldán, 2003.

Anexo 3. Niveles de calidad de las aguas y los rangos de valores según el Índice BMWP/Col y el color para cartografía.

Clase	Calidad	Valor BMWP	Significado	Color
I	Buena	≥150	Aguas muy limpias	
		101-120	Aguas no contaminadas o poco alteradas	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

Fuente: Roldán, 2003.

Anexo 4. Clases de calidad, significación de los valores de EPT.

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

Fuente: Carrera & Fierro, 2001.

Anexo 5. Significación del índice de Shannon.

Valores	Interpretación
<1.5	Diversidad baja
1,6 a 3	Diversidad media
>3.1	Diversidad alta

Fuente: Cardno, 2017

Anexo 6. Concesiones mineras presentes en la microcuenca del río Cascales.

No	Nombre del sector minero	Código de la concesión	Tipo de minería	Método de explotación	Ubicación	
					X	Y
1	Mining Force	490897	Minería Artesanal	Cielo abierto	251800	10013.8
2	Armando Rojas	Sin código	Sin especificar	Cielo abierto	252476	10025.2
3	Alfredo Cundumi Caicedo	Sin código	Informal	Cielo abierto	252198	10023.2
4	Voluntad de Dios I	Sin código	Sin especificar	Cielo abierto	249581	11989.6
5	Finca segunda línea	Sin código	Sin especificar	Cielo abierto	251740.17	13284.26

Anexo 7. Orden Ephmeroptera.



Anexo 8. Orden Odonata.



Anexo 9. Orden Hemiptera.

