

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO
CAPELO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGOS EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

ALVARO MISAEL CALO GUALPA

alvaro.calo@epn.edu.ec

FRANCISCO DANIEL GUERRERO MUÑOZ

francisco.guerrero@epn.edu.ec

Directora: ING. NATHALIA VALENCIA BONILLA MSc.

nathalia.valencia@epn.edu.ec

Quito, Septiembre del 2019

AVAL DEL DIRECTOR

Como directora del trabajo de titulación, Evaluación de la calidad del agua del río Capelo, desarrollado por Alvaro Misael Calo Gualpa y Francisco Daniel Guerrero Muñoz, estudiantes de Tecnología en Agua y Saneamiento Ambiental, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la defensa oral.

Ing. Nathalia Valencia MSc.

Directora del Proyecto

DECLARACIÓN

Nosotros, Álvaro Misael Calo Gualpa y Francisco Daniel Guerrero Muñoz, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Álvaro Misael Calo Gualpa

Francisco Daniel Guerrero Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por regalarnos un día más de vida para perseguir nuestros sueños y cumplir nuestras metas.

Gracias a nuestros padres, por ser la parte fundamental en este logro, por todo su esfuerzo y sacrificio realizado, por su apoyo incondicional, su amor y bondad que nos han brindado siempre.

Agradecemos en especial a nuestra directora Ing. Nathalia Valencia e Ing. Hamilton Mosquera quienes han compartido y contribuido sus conocimientos para el cumplimiento de este trabajo. Además, agradecemos a todos nuestros docentes que nos impartieron sus conocimientos durante nuestro paso por la vida universitaria.

Agradecemos a todos nuestros amigos y amigas con quienes hemos compartido momentos memorables que quedarán grabados a lo largo de nuestra vida. Además, agradecemos en especial a nuestras amigas incondicionales Sofía Imbaquingo y Rommy Mendoza que siempre nos han brindado su amistad en los buenos y malos momentos.

Gracias a todas las personas que nos brindaron su ayuda a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Álvaro y Francisco

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación, lo dedico a mis padres Mónica y Misael que gracias a su apoyo incondicional, su amor y confianza me ayudaron a lograr este objetivo, los quiero mucho.

A mis abuelitos, Alejandro y Valentina, por su cariño, su apoyo incondicional y por estar siempre ayudándome en todos los momentos de mi vida, los quiero mucho.

A mi hermano por todo su cariño y afecto, el cual me ayuda a seguir adelante.

A mis tíos y primos por todo su apoyo y sus consejos que me han ayudado en el transcurso de mi vida para el cumplimiento de mis metas.

A mis amigos que siempre estuvieron brindándome su apoyo y compartiendo lindos momentos.

Álvaro

Dedico este trabajo a mi Mami Bachi y a mi Papi Pepe, por ser parte fundamental de mi vida, por el apoyo incondicional que me brindaron siempre, por no dejarme caer en momentos difíciles. Gracias a ustedes este sueño se hizo realidad.

A mis Hermanos, Rubén, Carolina, Javier que siempre me apoyaron en las buenas, malas y peores saben que esto también es de ustedes por los consejos brindados y por la fuerza que me aportaban cuando se necesitaba.

A mis sobrinas, Priscila, Doménica, Aisha con este logro demostrarles que los sueños se cumplen y que ustedes también pueden cumplir sus sueños y sus metas.

Por último dedico este trabajo a mi otra mitad, Mami Roció, Alejito, Nicole, Neri y Noe porque ustedes también aportaron con mucho para conseguir este sueño que poco a poco se fue haciendo realidad.

Francisco

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
PRESENTACIÓN	XVI
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General.....	1
1.1.2 Objetivos Específicos	1
1.2 Alcance.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Marco Teórico.....	3
1.4.1 Contaminación del Agua.....	3
1.4.2 Indicadores de la Calidad del agua.....	4
1.4.2.1 Parámetros Físicos.....	4
1.4.2.2 Parámetros Químicos	5
1.4.2.3 Parámetros Microbiológicos.....	8
1.4.3 Indicadores Biológicos de la Calidad del Agua	8
1.4.3.1 Organismos bioindicadores	8
1.4.3.2 Macroinvertebrados.....	10
1.4.3.2.1 Tipos de Macroinvertebrados en Hábitats Acuáticos	10
1.4.4 Índice de la Calidad del Agua.	13
1.4.5 Índices Biológicos.....	14
1.4.5.1 Biological Monitoring Working Party por Roldan (BMWP-R).....	14
1.4.5.2 Andean Biological Party (ABI).....	15
1.4.5.3 Average Score Per Taxón (ASPT) y Andean Average Score Per Taxón (AASPT).....	15
CAPÍTULO 2.....	17
2 METODOLOGÍA.....	17
2.1 Descripción del sitio de Estudio	17
2.1.1 Hidrología	19
2.1.2 Aspectos Socioeconómicos	19
2.1.3 Servicios Básicos	20
2.1.4 Uso De Suelo	21

2.1.5	Cobertura Vegetal	22
2.1.6	Estado del Río Capelo.....	23
2.1.6.1	Principales fuentes de Contaminación.....	23
2.2	Metodología de Muestreo	24
2.2.1	Temporalidad del estudio y selección de puntos de muestreo	24
2.2.2	Descripción de los puntos de Muestreo	25
2.2.2.1	P0 – Condiciones iniciales	25
2.2.2.2	P1 – Quebrada Santa Isabel.....	25
2.2.2.3	P2 – Quebrada Calicanto	26
2.2.2.4	P3 – Inicio del río Capelo.....	26
2.2.2.5	P4 – Mitad río Capelo	27
2.2.2.6	P5 – Final río Capelo	28
2.3	Medición de Parámetros Hidráulicos.....	28
2.4	Parámetros Físicoquímicos.....	31
2.4.1	Equipos y Materiales	32
2.4.2	Análisis en laboratorio	33
2.5	Cálculo del Índice de Calidad del Agua.....	34
2.6	Macroinvertebrados	35
CAPÍTULO 3.....		36
3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	36
3.1	Análisis de Resultados	36
3.1.1	Caudal	37
3.1.2	Turbidez y Sólidos Suspendidos.....	37
3.1.3	Conductividad y Sólidos Disueltos	38
3.1.4	Nutrientes	39
3.1.5	Temperatura y Oxígeno Disuelto	40
3.1.6	Potencial de Hidrógeno (pH).....	40
3.1.7	Coliformes Fecales	41
3.1.8	Índice de la Calidad de Agua	42
3.1.9	Abundancia de Individuos de Macroinvertebrados.....	43
3.1.10	Índices Biológicos: BMWP-R, ABI, ASPT	44
3.1.11	Determinación de posibles usos del río Capelo según la Norma Ecuatoriana.	46
3.2	Discusión.....	49
3.2.1	Análisis General de Parámetros Físicoquímicos	49
3.2.2	Calidad Ecológica del río Capelo	50

3.3 Sociabilización.....	51
CAPÍTULO 4.....	53
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
4.1 Conclusiones.....	53
4.2 Recomendaciones.....	54
5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	60
Anexo N° 1	61
Puntajes de las familias de macroinvertebrados para el Índice BMWP-R y ABI.....	61
Anexo N°2	65
Cobertura y Uso de Suelo.....	65
Anexo N° 3	67
Principales fuentes de contaminación antropogénica del río Capelo.....	67
Anexo N° 4	69
Mapas de los puntos de Muestreo	69
Anexo N°5	71
Hoja de Campo.....	71
Anexo N° 6	73
Protocolo para la recolección de macroinvertebrados.....	73
Anexo N° 7	78
Macroinvertebrados encontrados en el río Capelo.....	78
Anexo N° 8	81
Registro fotográfico del muestreo	81
Anexo N° 9	83
Mapa de Variación de la Calidad del Agua ICA.....	83
Anexo N° 10	85
Mapa de variación de la Calidad del Agua BMWP-R	85
Anexo N° 11	87
Registros de fotográfico de la sociabilización.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bioindicadores Ventajas y Desventajas.....	9
Tabla 2. Grupos de Macroinvertebrados en medios acuáticos.....	12
Tabla 3. Valores del ICA-NSF	14
Tabla 4. Niveles de Tolerancia (BMWP-R Y ABI).....	15
Tabla 5. Clasificación del Índice de ASPT y AASTP	16
Tabla 6. Límites de la parroquia San Pedro de Taboada	18
Tabla 7. Límites de la parroquia San Rafael	18
Tabla 8. Principales Actividades Económicas	20
Tabla 9. Cobertura de Agua Potable y Alcantarillado	21
Tabla 10. Superficie de Cobertura Vegetal del Cantón Rumiñahui.....	23
Tabla 11. Coordenadas de los puntos de muestreo	24
Tabla 12. Almacenamiento y Preservación de las muestras	32
Tabla 13. Equipos utilizados en el trabajo in-situ.	33
Tabla 14. Métodos utilizados en el laboratorio	33
Tabla 15. Coeficiente de ponderación para cada parámetro	35
Tabla 16. Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos	36
Tabla 17. Valores de coliformes fecales encontrados en cada punto de muestreo	41
Tabla 18. Índices BMWP-R Y ABI.....	45
Tabla 19. Criterio de calidad para fuentes para consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional	46
Tabla 20. Criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulces.	47
Tabla 21. Criterios de calidad de aguas para uso agrícola.....	48
Tabla 22. Criterios de calidad para aguas para uso pecuario.....	48
Tabla 23. Datos generales de parámetros fisicoquímicos.	49
Tabla 24. Evaluación Ecológica del río Capelo	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macroinvertebrados Neuston	11
Figura 2. Macroinvertebrados Necton	11
Figura 3. Macroinvertebrados Bentos	12
Figura 4. Ubicación de las parroquias San Pedro de Taboada y San Rafael en el Cantón Rumiñahui	17
Figura 5. Promedio de la Precipitación y Temperatura Mensuales.....	19
Figura 6. Punto P0 (Condiciones iniciales).....	25
Figura 7. Punto P1 (Quebrada Santa Isabel)	26
Figura 8. Punto P2 (Quebrada Calicanto)	26
Figura 9. Punto P3 (Inicio Río Capelo).....	27
Figura 10. Punto P4 (Mitad río Capelo).....	27
Figura 11. Punto P5 (Final río Capelo).....	28
Figura 12. Medición del caudal con colorantes.	29
Figura 13. Inicio del Colorante para el tiempo 1.....	29
Figura 14. Llegada del Colorante para el tiempo 2.....	29
Figura 15. Sección transversal.....	30
Figura 16. Medición de la profundidad	30
Figura 17. Caudal	37
Figura 18. Turbidez y Sólidos Suspendidos	38
Figura 19. Conductividad y Sólidos Disueltos	39
Figura 20. Nutrientes	39
Figura 21. Oxígeno Disuelto y Temperatura	40
Figura 22. pH.....	41
Figura 23. Variabilidad de Coliformes Fecales en el tramo de estudio	42
Figura 24. Índice de Calidad del Agua de los puntos de Muestreo.....	43
Figura 25. Abundancia de individuos en los puntos de muestreo.....	44
Figura 26. Índice BMWP-R y ABI	45

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice de la Calidad del Agua.....	13
Ecuación 2. Tiempo medio.....	29
Ecuación 3. Velocidad del agua.....	29
Ecuación 4. Profundidad media	30
Ecuación 5. Sección transversal	31
Ecuación 6. Sección transversal media.....	31
Ecuación 7. Caudal.....	31

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Descarga al cauce del río de forma directa	68
Fotografía 2. Acumulación de basura en la ribera	68
Fotografía 3. Acumulación de basura en el cauce	68
Fotografía 4. Vegetación.....	68
Fotografía 5. Rocas con presencia de hidrocarburos	68
Fotografía 6. Recolección de macroinvertebrados	75
Fotografía 7. Macroinvertebrados	76
Fotografía 8. Separación de macroinvertebrados	77
Fotografía 9. Identificación de macroinvertebrados.....	77
Fotografía 10. Medición con el Multiparámetro	82
Fotografía 11. Recolección de muestra para coliformes	82
Fotografía 12. Medición de parámetros hidráulicos.....	82
Fotografía 13. Recolección de macroinvertebrados	82
Fotografía 14. Medición con el Conductímetro.....	82
Fotografía 15. Recolección de muestra para laboratorio.....	82
Fotografía 16. Entrega del informe al GADMUR	88
Fotografía 17. Sociabilización del informe a la encargada del análisis de agua del DAPAC-R.	88
Fotografía 18. Revisión del informe	88
Fotografía 19. Informe sellado y aceptado por el GADMUR.....	88

RESUMEN

El presente trabajo de titulación incluye la evaluación de la calidad del agua del río Capelo, ubicado en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. El río Capelo posee una extensión de 3.48 km de río y 3 km de quebrada y atraviesa una zona urbana y rural.

Durante la evaluación se consideraron 6 puntos, de las cuales 3 pertenecen a quebradas, y otras 3 muestras se tomaron al inicio, mitad y en la zona de descarga del río. En cada punto de muestreo se evaluó parámetros de campo como: temperatura, oxígeno disuelto (OD), turbidez, pH, conductividad, sólidos disueltos totales. Además, se tomaron muestras puntuales para análisis en laboratorio: nutrientes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), contenido de sólidos y coliformes fecales (CF).

Además, se recolectaron muestras de macroinvertebrados bentónicos en cada sección transversal, considerando los tipos de sustratos y hábitats propios del río Capelo, determinándose el caudal del río durante el muestreo, a través del método de trazadores.

Los resultados obtenidos en la evaluación del río Capelo, indican que el río se encuentra en un estado "Contaminado" debido a la valoración de los índices ICA, ABI y BMWP-R.

Por medio de este trabajo se pudo realizar una ficha de información base, para así definir el problema y posibles soluciones con respecto a la contaminación del río, lo que ayudará a mejorar la planificación de los monitoreos que se realicen en años posteriores.

Palabras clave: río, quebrada, macroinvertebrados, crítico, contaminado, ficha de información.

ABSTRACT

Water quality assessment of the Capelo River has an extension of 3.48 km of river and 3 km from ravine and crosses an urban and rural area.

During the evaluation, six points were chosen to be analyzed. At each sampling point the following field parameters were evaluated: temperature, dissolved oxygen (OD), turbidity, pH, conductivity, sodium chloride (NaCl), and total dissolved solids. In addition, specific samples were taken for laboratory analysis: nutrients, biochemical oxygen demand (DBO₅), chemical oxygen demand (DQO), solid content and coliforms (CF)

In addition, samples of benthic macroinvertebrates were collected in each section, considering the types of substrates and habitats of the Capelo River.

Using the results obtained in the evaluation of the Capelo River; the river is in a "contaminated" state according to the ICA, ABI and BMWP-R.

Through this work, basic information could be carried out to define the problem and propose possible solutions to river pollution which will help improve the planning of monitoring in later years.

Keywords: river, ravines, macroinvertebrates, critic, contaminated, base information sheet.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo tiene como propósito principal realizar la evaluación de la calidad de agua del río Capelo mediante el análisis de las características físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua para, posteriormente, establecer mediante el uso de indicadores los sitios que presentan una mayor contaminación, provocada por la descarga directa de materiales residuales provenientes de zonas residenciales, comerciales y actividades económicas relacionadas que se desarrollan en la zona. Para ello, se dividió el trabajo en cuatro capítulos con el siguiente contenido:

El primer capítulo presenta los objetivos, el alcance y la justificación que sustentan la importancia de la ejecución del trabajo. Incluye también, el marco teórico, donde se realiza una revisión bibliográfica entorno al tema abordado y se desarrolla el sustento teórico y práctico de los criterios que serán utilizados para la evaluación de la calidad del agua.

El segundo capítulo contiene la metodología utilizada para realizar la recopilación de datos de campo necesarios para la determinación de los indicadores de calidad del agua. Aquí se definen la logística, procedimientos y técnicas utilizadas durante las diferentes fases del estudio: información base, visita de campo, diseño de la campaña de muestreo, determinación de índices de la calidad del agua y elaboración de los mapas de calidad de agua.

El tercer capítulo corresponde a resultados y discusión, el cual contiene el procesamiento de los datos recopilados, en forma de gráficos e indicadores, con su interpretación y análisis.

Por último, el cuarto capítulo está conformado por las conclusiones y recomendaciones conforme a los objetivos planteados y los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

Los ríos representan un recurso importante para el ser humano, ya que ofrecen una gran variedad de servicios ecosistémicos, mismos que han coadyuvado en el desarrollo de la sociedad. En varios países se han implementado políticas que regulan el uso, tratamiento y conservación de estos cuerpos de agua. Sin embargo, en el Ecuador aún no existe la conciencia necesaria para la preservación y cuidado de estos ecosistemas, ya que solo se lo ve como un recurso a explotar y no así como un ecosistema a conservar (Encalada, 2010).

Lamentablemente, en los últimos años, los sistemas fluviales han experimentado un acelerado deterioro ecológico donde se encuentra el río Capelo, el cual es un cuerpo de agua que atraviesa las parroquias de San Pedro de Taboada y San Rafael en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui. Es un receptor de los materiales residuales, sólidos y líquidos, emitidos desde asentamientos urbanos y rurales adyacentes, mismos que se han ido incrementando con el paso de los años. Sumada a esta problemática se encuentra la falta de control y regulación ambiental por parte de las autoridades locales, quienes han obviado en su totalidad esta problemática (Romero & Zuñiga, 2017).

Para diagnosticar las condiciones ambientales actuales del río Capelo, se realizó la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos, *in situ* y en laboratorio. Adicionalmente, se hizo uso de macroinvertebrados acuáticos, con el fin de evaluar el estado ecológico del ecosistema fluvial (Roldan, 2003).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la variación de la calidad del agua del río Capelo mediante el uso de indicadores físicos, químicos y biológicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- i. Determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) mediante la medición de parámetros físicos y químicos.

- ii. Establecer la calidad ecológica del agua mediante la determinación del BMWP-R y ABI característico de cada sección transversal.
- iii. Elaborar un mapa de variación de la calidad del agua en la zona de estudio.
- iv. Establecer los posibles usos del cuerpo de agua en función de su calidad y la normativa aplicable.

1.2 Alcance

El presente trabajo tiene como finalidad realizar la evaluación del estado actual del río Capelo mediante el uso de indicadores de calidad del agua como el ICA-NSF, el cual muestra la capacidad del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener y se basa en la medición de diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, agrupándoles y dándoles ponderaciones para obtener un valor único que refleja la condición del cuerpo de agua. Adicionalmente, para establecer el estado ecológico del sistema se hará uso de índices biológicos como el BMWP-R (*Biological Monitoring Working Party*) y el ABI (*Andean Biotic Index*), los cuales permitirán estimar la calidad biológica del cuerpo de agua.

Para la determinación de estos índices es necesario establecer las distintas fases que comprenden la ejecución del estudio, las cuales son: i) Planificación de la campaña de muestreo, ii) Análisis de muestras en laboratorio, iii) Verificación y procesamiento de datos, y iv) Análisis de la información. Los puntos de muestreo serán tomados en función de un análisis del uso y cobertura de suelo adyacente a este cuerpo de agua, mediante el uso de información digital integrada en un programa de Sistemas de Información Geográfica.

1.3 Justificación

El río Capelo es uno de los sistemas acuáticos que recibe la descarga directa de aguas residuales provenientes del Cantón Rumiñahui, principalmente de las parroquias San Pedro y San Rafael. A esta problemática se suma el acelerado crecimiento poblacional, una deficiente planificación territorial y la mala gestión y control ambiental lo que ha ocasionado un deterioro constante de la calidad de agua, misma que se ve reflejada en la incapacidad para ser destinada con fines de aprovechamiento.

El presente estudio tiene como finalidad determinar las zonas contaminadas, provocadas principalmente por descargas de los conjuntos residenciales y de

actividades económicas que se desarrollan en las dos parroquias por donde atraviesa el río y proporcionar información sobre el estado actual de la calidad del agua del río Capelo con el fin de contribuir con una evaluación de los puntos críticos de contaminación. Este estudio a su vez servirá como referencia para el desarrollo de estrategias y propuestas enfocadas a la conservación del cuerpo de agua.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Contaminación del Agua

Para realizar la evaluación de la calidad del agua es importante realizar la medición de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales son seleccionados de acuerdo con los objetivos que se ha planteado y las fuentes de contaminación identificadas.

Con respecto a la norma técnica ambiental vigente, se considera contaminación del agua a “cualquier alteración de las características físicas, químicas o biológicas, en concentraciones tales que la hacen no apta para el uso deseado, o que causa un efecto adverso al ecosistema acuático, seres humanos o al ambiente en general” (MAE, 2015)

La contaminación del agua está relacionada proporcionalmente al crecimiento demográfico, debido a que la cobertura de alcantarillado sanitario no abastece a toda la población. Debido a ello gran parte de los residuos líquidos son emitidos directamente a los cuerpos de agua. Además, el crecimiento de la producción y el consumo genera una costumbre por parte la población de arrojar desechos a lo largo del cauce del río.

La contaminación vertida a los cuerpos de agua puede ser de tipo puntual y no puntual. Las descargas de fuentes puntuales son generalmente de aguas servidas municipales e industriales, donde los contaminantes principales son: microorganismos patógenos, tensoactivos, nutrientes y contaminantes orgánicos. Por otro lado, las fuentes no puntuales están relacionadas a las actividades que requieren áreas más extensas, y esto dificulta su monitoreo. Corresponde más a contaminantes provenientes de actividades como la agricultura y ganadería. (Carpenter, y otros, 1998).

Para evaluar el grado de contaminación de un cuerpo de agua existen dos herramientas fundamentales: índices e indicadores de calidad.

1.4.2 Indicadores de la Calidad del agua

Existen diferentes indicadores ambientales que se clasifican de distintas maneras. De acuerdo a los parámetros usados pueden ser: parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Para una correcta evaluación de la calidad del agua, es importante realizar su monitoreo, el cual ayuda a establecer la variación del estado de un cuerpo de agua en el tiempo. (García 2001)

A continuación, se explica de forma breve los parámetros seleccionados en el estudio realizado en el río Capelo.

1.4.2.1 Parámetros Físicos.

- **Temperatura**

Este parámetro es muy importante en el agua, ya que interviene en la aceleración o en el retardo de la actividad biológica, la desinfección y procesos de mezcla, la absorción del oxígeno, filtración, floculación y sedimentación (Barrenechea, 2004).

La temperatura en aguas superficiales normalmente se encuentra entre 0 y 30 °C. (García, 2001). Diferentes factores, primordialmente ambientales, pueden generar que la temperatura del agua varíe incesantemente. Se puede encontrar cuerpos de agua por encima del rango usual, debido a descargas de aguas residuales con altas temperaturas (sobre los 50°C), que por lo general provienen de termoeléctricas e industria textil (García, 2001).

- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Los Sólidos disueltos totales (SDT) indican la cantidad o la porción de materiales disueltos en el agua. Además, indica la concentración total de sales inorgánicas y permite conocer la salinidad del agua. Al encontrarse en elevados niveles se puede visualizar un aspecto turbio del medio (Barrenechea, 2004).

Los SDT son principalmente la suma de diferentes metales, minerales y sales disueltas en el cuerpo de agua. Algunos SDT son generados por fuentes orgánicas como sedimentos, hojas, aguas residuales y desechos industriales. También

diferentes fuentes provienen de escorrentías de las zonas urbanas donde se utiliza pesticidas y fertilizantes (Aznar 2000).

- **Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución para transportar la corriente eléctrica, dependiendo de la presencia de iones y de su concentración total. Una de las características de la conductividad eléctrica de una solución, es que se la utiliza como una medida indirecta de la concentración de sólidos disueltos totales y así como también de la salinidad en el agua. La conductividad eléctrica y la salinidad están relacionadas ya que, si aumentan los iones que se encuentran disueltos en el cuerpo de agua los valores de ambos parámetros aumentarán (Bonsai Menorca, 2016).

Así mismo, la conductividad eléctrica del agua está relacionada con la temperatura, ya que, a mayor temperatura, la conductividad eléctrica será más alta. La conductividad eléctrica en aguas superficiales normalmente se encuentra entre 700 a 1200 uS/cm (García, 2001).

- **Turbidez**

La turbidez se define como la suspensión de materiales en el agua que obstaculiza el paso de la luz. Interviene en la fotosíntesis de los diferentes ecosistemas acuáticos existentes en los ríos. La turbidez posee un origen orgánico cuando existen actividades antrópicas, o presenta un origen inorgánico (arenas, arcillas, etc.) producido por la erosión de la cuenca del río (Ramirez,2011).

Es un parámetro ampliamente estudiado en fuentes de abastecimiento de agua, ya que desde el punto de vista estético genera repudio en los consumidores. Además, que niveles altos de turbidez están relacionados con presencia de organismos patógenos, que pueden causar afecciones en la salud humana, causadas por distintas enfermedades hídricas. La turbidez en aguas superficiales normalmente se encuentra entre 20 y 50 NTU (Hernán Cruz, & Escobar,2011).

1.4.2.2 Parámetros Químicos

- **Potencial de Hidrogeno (pH)**

El pH es un parámetro que permite determinar la concentración de radicales hidrógeno en una solución y que permite establecer si tiene una condición ácida, neutra o básica.

El valor de pH se encuentra en un rango de 0 a 14, si el cuerpo de agua está en un valor menor a 7 nos indica que el agua es ácida, un valor mayor a 7 nos indica que es básica y un valor igual a 7 nos indica un valor neutro del agua. Por lo general, el agua superficial tiene un rango de 6,5 y 8,5 (García, 2001).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

La DBO es un parámetro que determina la cantidad de oxígeno que se requiere para la estabilización biológica de la materia orgánica presente en muestras de agua. Las aguas superficiales normalmente presentan valores de DBO₅ entre 100 y 400 mg/L (Aznar, 2000).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno permite la determinación de la cantidad de oxígeno que es necesario para la oxidación de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentra presente en un cuerpo de agua (Aznar, 2000).

- **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto (OD) se define como la cantidad de oxígeno en solución que se encuentra en el agua. El OD y la temperatura están relacionados, ya que a menor temperatura mayor cantidad de OD y a mayor temperatura menor cantidad de OD en un cuerpo de agua (Peña, 2007).

La cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua, es de gran importancia en el desarrollo de diferentes procesos y en el incremento de vida en los medios acuáticos, por lo que realizar la medición de este parámetro es imprescindible en los estudios de evaluación de la calidad del agua (Aznar, 2000)

El oxígeno disuelto que se encuentra presente en el agua, es el resultado principalmente de los diferentes procesos fotosintéticos, que desarrollan las diferentes plantas acuáticas, ocasionando una liberación de oxígeno. Por lo general se necesita una concentración de 5 mg/L para mantener vida acuática en los cuerpos superficiales de agua, ya que si se encuentran concentraciones menores a 3 mg/L resulta letal para ciertas especies no tolerantes (Barrenechea, 2004).

- **Fosfatos**

Conforme con (Zhen, 2009) y (Romero, 2009), el fósforo es un componente indispensable para la vida animal como también vegetal. La presencia de fosfatos en un cuerpo de agua produce la eutrofización en los ríos. Los fosfatos se encuentran presentes en detergentes, fertilizantes y llegan a cuerpos de agua superficiales mediante descargas de aguas residuales domésticas (Barrenechea, 2004).

- **Nitratos**

Los nitratos son compuestos químicos inorgánicos que se derivan del nitrógeno. Se encuentra de forma natural tanto en aguas subterráneas como superficiales, así como también en pequeñas concentraciones en el suelo. El aumento de este compuesto en los cuerpos de agua se acentúa en zonas de producción agrícola, debido a la utilización de abonos con alto contenido de nitrógeno. Además, son fuentes de contaminación de nitratos en los cuerpos de agua, las zonas ganaderas y vertidos de aguas residuales (Cárdenas 2005).

Los nitratos, son el grupo nitrogenado más importante que se encuentra mayoritariamente en todos los cuerpos de agua. Cabe mencionar que la presencia de nitratos provoca proliferación de algas, estas al descomponerse emiten toxinas que degradan los canales de oxígeno (Barrenechea, 2004).

- **Salinidad**

La salinidad representa la cantidad de sales que se encuentran disueltas en el cuerpo de agua. La conductividad eléctrica y la salinidad se encuentran relacionadas. Este parámetro es importante pues afectan a la calidad del agua de riego y de agua potable. Además, es influyente en lo que corresponde con la biota acuática, puesto que cada organismo posee diferente tolerancia hacia este parámetro (Peña, 2007).

Un aumento de sal en los ríos, causado por la actividad humana es una causa que condiciona el desarrollo de comunidades, organismos, biodiversidad, así como también el equilibrio ecológico de un ecosistema. (Cárdenas 2005).

1.4.2.3 Parámetros Microbiológicos

- **Coliformes Fecales**

La existencia de coliformes fecales indica la contaminación bacteriana del cuerpo de agua, debido a los desechos de alcantarilla y excremento. Su presencia en las fuentes de agua indica contaminación por bacterias patógenas y el consumo de esta puede producir enfermedades en la población como el cólera y la gastroenteritis, entre otras.

Los coliformes fecales exclusivamente, se los selecciona como indicador de contaminación fecal, debido a su nexos con el grupo tifoideparatifoide. La principal bacteria es *Escherichia coli*, misma que se encuentra presente en aguas residuales y en las heces, es muy difícil que crezca en aguas naturales (Aznar, 2000)

1.4.3 Indicadores Biológicos de la Calidad del Agua

Los indicadores biológicos o bioindicadores son aquellos organismos que muestran cualitativamente una perspectiva general del medio acuático en donde este se encuentra. La presencia y abundancia de determinado organismo señala el estado actual del medio y así sus características bien definidas. (Roldan, 2003)

Un bioindicador describe a un organismo o una comunidad de organismos los cuales permiten estudiar la presencia de contaminantes o perturbaciones que se encuentran en el medio acuático (Hellawell, 1986).

El uso de los bioindicadores ayuda a establecer las condiciones de salud de un cuerpo de agua, pero no reemplaza las actividades que se realizan en el campo o en el laboratorio para la caracterización fisicoquímica del agua, ya que los bioindicadores ayudan en el reconocimiento y cuantificación de los organismos basándose en los índices de diversidad para poder calificar el estado de la calidad del agua (Vázquez G, 2006).

1.4.3.1 Organismos bioindicadores

Existe un gran conjunto de organismos indicadores, la mayoría se encuentra en los niveles bajos de la cadena trófica, ya que de estos dependen del resto de organismos. En estos existe dos grupos de bioindicadores: Reino vegetal y Reino animal.

Las plantas son utilizadas especialmente para la medición integral y extendida en el tiempo sobre la calidad del agua, es decir que se puede conocer las condiciones que haya existido un tiempo atrás al momento del muestreo.

Al encontrar una abundancia alta de nutrientes como el nitrógeno y fósforo en aguas profundas al igual que el oxígeno, las plantas acuáticas proliferan y esto refleja un grado de eutrofización. Los sistemas con baja concentración de nutrientes poseen mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos. En la Tabla 1 se resumen las ventajas y desventajas de varios bioindicadores.

Tabla 1. Bioindicadores Ventajas y Desventajas

Organismo	Ventaja	Desventaja
Bacterias	Metodología desarrollada, muestreo simple; evidencia rápidamente cambios o contaminación. En laboratorio su cultivo es viable. Se utilizan como indicadores de contaminación fecal principalmente.	Las bacterias registradas pueden no haber sido originadas en el punto de muestreo. Su tiempo de vida es relativamente corto. Se requiere condiciones estériles para su manejo.
Protozoarios	Tienen una rápida respuesta a cambios del cuerpo de agua. No se dificulta su muestreo	Presenta problemas de identificación taxonómica. Los protozoarios registrados pueden no haber sido originarios del punto de muestreo.
Algas (Fitoplancton)	Existe un registro de comunidades tolerantes y no tolerantes a la contaminación. Son indicadores utilizados para establecer niveles tróficos.	No diferencian contaminación orgánica o fecal, pesticidas o metales. Existe dificultad en la identificación taxonómica.
Macroinvertebrados (insectos, moluscos, anélidos, poliquetos, crustáceos, nemátodos)	Pueden encontrarse en varios nichos ecológicos. La mayoría son comunidades sedentarias con ciclos de vida larga. Son indicadores de efectos de contaminación en el tiempo, en el sitio de muestreo.	Presenta dificultades cuantitativas de muestreo. Su fácil identificación se limita a nivel de familia. Es necesario conocer su ciclo de vida.

Continuación **Tabla 1.** Bioindicadores Ventajas y Desventajas

Organismo	Ventaja	Desventaja
Macrófitas	Tienen facilidad de observación e identificación. Son indicadores de contaminación por materiales suspendidos y nutrientes.	Su respuesta a la contaminación no está bien documentada. Su presencia generalmente es estacional y no existe mucha variedad en un mismo sitio.
Peces	Son de fácil identificación. Pueden indicar el efecto de la cadena alimentaria en un cuerpo de agua. Son utilizados para bioensayos de toxicidad.	Los peces pueden migrar para evitar zonas contaminadas.

Fuente: (Soria, 2016)

De todas las alternativas de bioindicadores, los macroinvertebrados presentan algunas ventajas que los hacen ser considerados como buenos indicadores de la calidad del agua en los diferentes cuerpos de aguas corrientes y aguas estancadas, por lo que se amplía a continuación su descripción.

1.4.3.2 Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados son organismos que se desarrollan en medios acuáticos, los cuales se pueden visualizar a simple vista ya que tienen un tamaño igual o mayor a 0,5 mm (Roldan, 2003). El hábitat de los macroinvertebrados puede ser cualquier tipo de sustrato como: plantas, troncos, piedra, grava, algas, arena, fango, entre otros.

Los macroinvertebrados son utilizados principalmente como indicadores de la calidad del agua, ya que tienen la capacidad de reflejar las características fisicoquímicas e hidromorfológicas del medio acuático. Además, sus técnicas de recolección son estandarizadas, sencillas y no conllevan un gran costo su preservación (Roldan, 2003).

1.4.3.2.1 Tipos de Macroinvertebrados en Hábitats Acuáticos

Los macroinvertebrados pueden vivir en la superficie, nadar o vivir en el fondo del medio acuático. Para ello existen diferentes nombres de acuerdo a las características antes mencionadas. En función de su localización se denomina: Neuston, Necton y Bentos.

- **Neuston**

Esto son organismos que viven en la superficie del agua, es decir que estos van caminando, brincando o patinando. Estos organismos poseen uñas, patas y exoesqueleto recubiertos con una especie de cera que los hacen impermeables como se indica en la Figura 1.

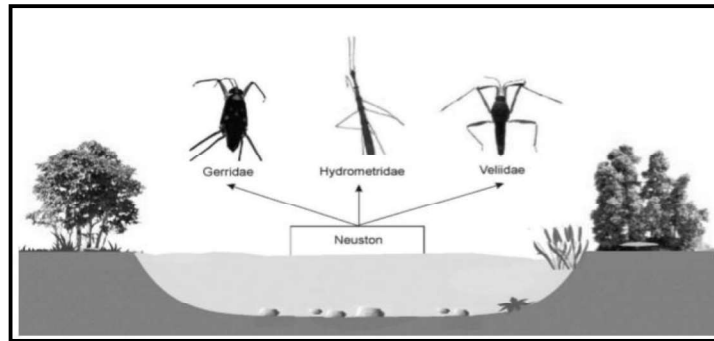


Figura 1. Macroinvertebrados Neuston

Fuente: (Alvarez, 2005; Roldan, 2003)

- **Necton**

Estos son organismos que nadan libremente en el medio acuático como se observa en la Figura 2.

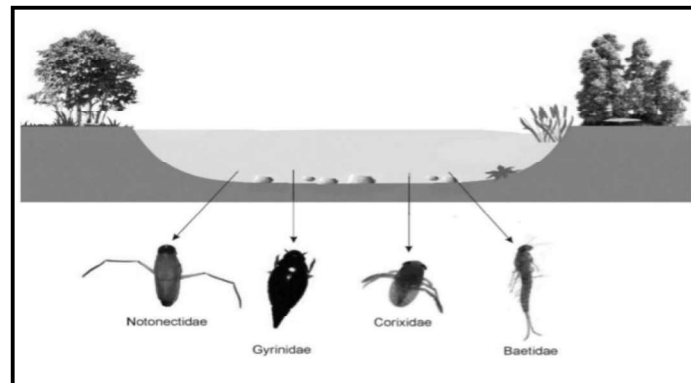


Figura 2. Macroinvertebrados Necton

Fuente: (Alvarez, 2005; Roldan, 2003)

- **Bentos**

Estos son organismos que viven en la inter fase sedimento agua. Pueden estar adheridos a troncos, rocas, piedras y otros sustratos, como se indica en la Figura 3.

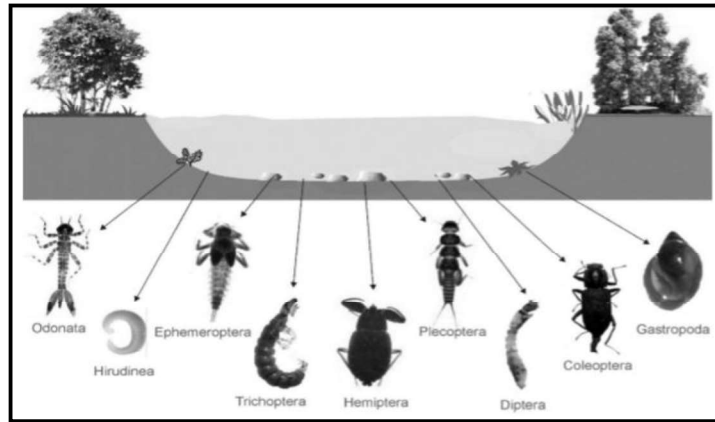


Figura 3. Macroinvertebrados Bentos
Fuente: (Alvarez, 2005; Roldan, 2003)

Los macroinvertebrados están presentes en los medios acuáticos en diferentes grupos; algunos de estos organismos tienen baja tolerancia a la contaminación y otros crecen y abundan en aguas contaminadas. Además, se desarrollan y se adaptan a las diferentes condiciones del río como velocidad y tipo de sustrato de fondo. Existen varios grupos representativos, mismos que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Grupos de Macroinvertebrados en medios acuáticos.

Filo	Clase	Orden	Familia	Género
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironominae, Orthoclauiinae, Cicrotendipes, Camptocladus, Polypedilum.
			Coleóptera	Hydrophilidae
		Noteridae		Hydrocanthus, Suphisellus
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	Limnodrilus, Tubifex
Molusca	Gastropoda	Pulmonata	Planorbidae	Biomphalaria, Drepanotrema, Planorbis, Helisoma.
	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Eupera, Musculium, Pisidium, Sphaerium.

Fuente: (Alvarez, 2005)

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

1.4.4 Índice de la Calidad del Agua.

El ICA-NSF permite identificar el grado de contaminación que posee un cuerpo de agua, utilizando diferentes expresiones matemáticas, según los parámetros caracterizados. Este índice de calidad está en una escala de 0 a 100, donde si el ICA es igual a 0 se considera que el agua está altamente contaminada y cuando el ICA es igual a 100 se considera que el agua se encuentra en excelentes condiciones (Alberro, 2009) (Villa, 2011).

La determinación del ICA-NSF se desarrolla en tres etapas:

- Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que serán utilizados para el cálculo del ICA-NSF.
- Se asigna una ponderación racional y unificada a cada uno de los parámetros seleccionados anteriormente.
- Por último, se determina el índice agrupando todos los subíndices para obtener el valor general del ICA-NSF, utilizando la siguiente fórmula:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 1. Índice de la Calidad del Agua.

Dónde:

ICA= Índice de la calidad del agua

I_i = Índice de calidad para el parámetro

W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro

n = Número de parámetros.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de acuerdo a los valores obtenidos en el cálculo del ICA-NSF, en la Tabla 3 se puede determinar el grado de la calidad del agua.

Tabla 3. Valores del ICA-NSF

Criterio de calidad	Rango	Color
Excelente	91-100	Blue
Buena	71-90	Green
Mediana	51-70	Yellow
Mala	26-50	Orange
Muy Mala	0-25	Grey

Fuente: (SNET, 2010)

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

1.4.5 Índices Biológicos

Los índices biológicos nos indican mediante un solo valor las características de todas las especies en un determinado sitio en específico de acuerdo a la tolerancia/intolerancia a la contaminación que se encuentra en el agua.

1.4.5.1 Biological Monitoring Working Party por Roldan (BMWP-R)

El índice BMWP es un índice cuya aplicación se da en ríos de la zona central de Europa, pero se adoptó su aplicación en varios países del mundo como Inglaterra, Chile, Colombia y para países de la Península Ibérica por Roldan. El cual realizó una adaptación al BMWP (BMPW-R) para los ríos de Colombia, y este índice es comúnmente utilizado en Ecuador, debido a que las características geográficas de estos ríos, son similares a las que encontramos en el país (Roldan, 2003).

Para estimar la calidad en la que se encuentra un ecosistema acuático se utiliza una valoración a nivel de familia (Anexo 1.1) y de acuerdo a la tolerancia a la contaminación estos valores van desde 1 a 10, donde 1 se da a las familias más resistentes a la contaminación y 10 se da a familias que son extremadamente sensibles a la contaminación (Roldan, 2003). La sumatoria de todos los valores de cada familia en un sitio de muestreo dará a conocer el grado de contaminación del mismo de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles de Tolerancia (BMWP-R Y ABI)

Calidad	BMWP	ABI	Significado	Color
Buena	100	96-100	Aguas muy limpias	
Aceptable	61-99	59-95	Ligeramente contaminadas	
Dudosa	36-60	35-58	Aguas moderadamente contaminadas	
Crítica	16-35	16-34	Aguas muy contaminadas	
Muy Crítica	<15	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: (Alvarez, 2005; Roldan, 2003)

Elaborado: Calo A., Guerrero F.

1.4.5.2 Andean Biological Party (ABI)

El índice ABI es también una adaptación del BMWP, pero en este caso es para ríos alto andinos (>2000 m.s.n.m) de Perú y Ecuador. La aplicación de esta herramienta tiene una similar aplicación al BMWP-R donde se asigna diferentes puntajes a las diferentes familias de macroinvertebrados (Anexo 1.2) en un determinado sitio de muestreo para así obtener un único valor el cual representa el grado de contaminación del sistema acuático de acuerdo a la Tabla 4.

1.4.5.3 Average Score Per Taxón (ASPT) y Andean Average Score Per Taxón (AASPT)

Utilizando el BMWP-R y el ABI, se calcula el puntaje promedio por taxón ASPT (Average Score Per Taxón), y AASPT (Andean Average Score Per Taxón), los cuales sirven para la evaluación de la calidad del agua. Para obtener los valores de estos índices, se calcula el puntaje total del BMWP-R y ABI, respectivamente; y este se divide para el número de taxones calificados en la muestra, con el cual se obtiene el

promedio de indicación de la calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontrados en el sitio muestreado. El ASPT y AASPT tienen valores que van desde 0 a 10. Donde un valor muy bajo de ASPT y AASPT indica que el ecosistema acuático tiene una calidad de agua fuertemente contaminado de acuerdo a la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación del Índice de ASPT y AASTP

Calidad	ASPT y AASPT	Significado	Color
Buena	>8 – 10	Aguas muy limpias	
Aceptable	>6.5 – 8	Ligeramente contaminadas	
Dudosa	>4.5 – 6.5	Aguas moderadamente contaminadas	
Critica	>3 – 4.5	Aguas muy contaminadas	
Muy Critica	1 – 3	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: (Alvarez, 2005)

Elaborado: Calo A., Guerrero F.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción del sitio de Estudio

El río Capelo se localiza en el Cantón Rumiñahui, mismo que cuenta con una superficie de 139 km², dividida en tres parroquias urbanas las cuales son: Sangolquí, San Pedro de Taboada y San Rafael (ver Figura 4); además, cuenta con dos parroquias rurales que son: Cotogchoa y Rumipamba. Particularmente el río Capelo atraviesa. Las parroquias de San Pedro de Taboada y San Rafael con una superficie de 4,9 km² y 2,7 km², respectivamente. (GADMUR, 2012).

En la Tabla 6 y 7 se indican los límites de las parroquias San Pedro de Taboada y San Rafael.

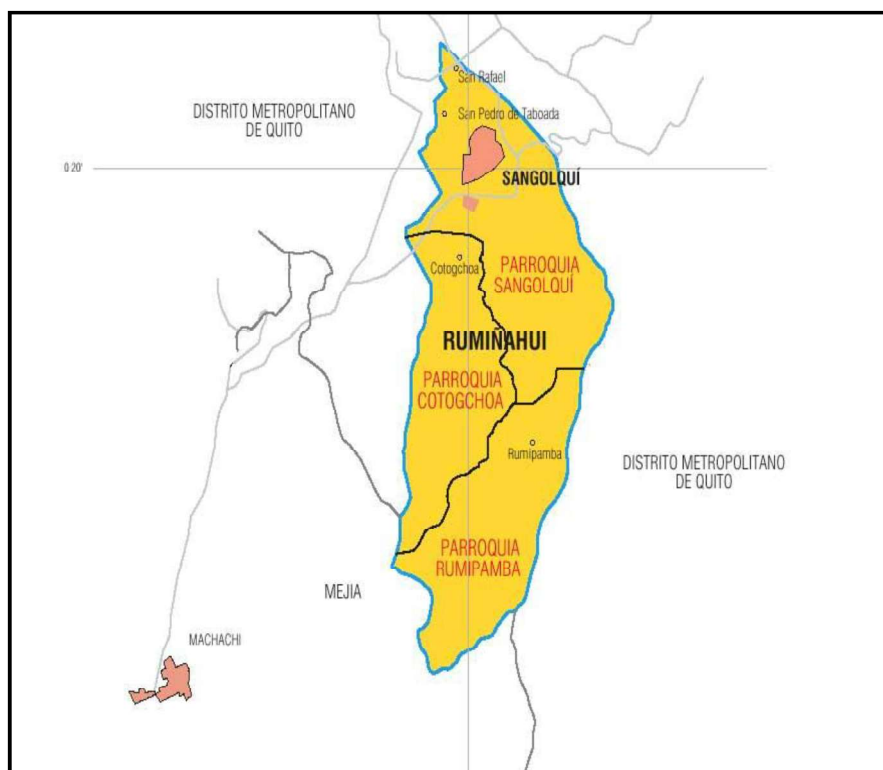


Figura 4. Ubicación de las parroquias San Pedro de Taboada y San Rafael en el Cantón Rumiñahui

Fuente: (GADMUR, 2012)

Tabla 6. Límites de la parroquia San Pedro de Taboada

Norte	Parroquia de San Rafael
Sur	Parroquia de Sangolquí
Este	Parroquia de Sangolquí
Oeste	Cantón Quito

Fuente: (GADMUR, 2012)

Tabla 7. Límites de la parroquia San Rafael

Norte	Cantón Quito
Sur	Parroquia de Sangolquí y San Pedro de Taboada
Este	Parroquia de Sangolquí
Oeste	Cantón Quito

Fuente: (GADMUR, 2012)

Las dos parroquias se ubican a una altitud media de 2500 m.s.n.m, la temperatura de la zona varía entre 8 °C a 30°C, los niveles de precipitación mensual está entre 38 y 258,2 mm, marcando que el período más lluvioso se encuentra en el mes de Abril. Mientras el período más seco esta entre el mes de Junio a Agosto (ver Figura 5) (GADMUR, 2012).

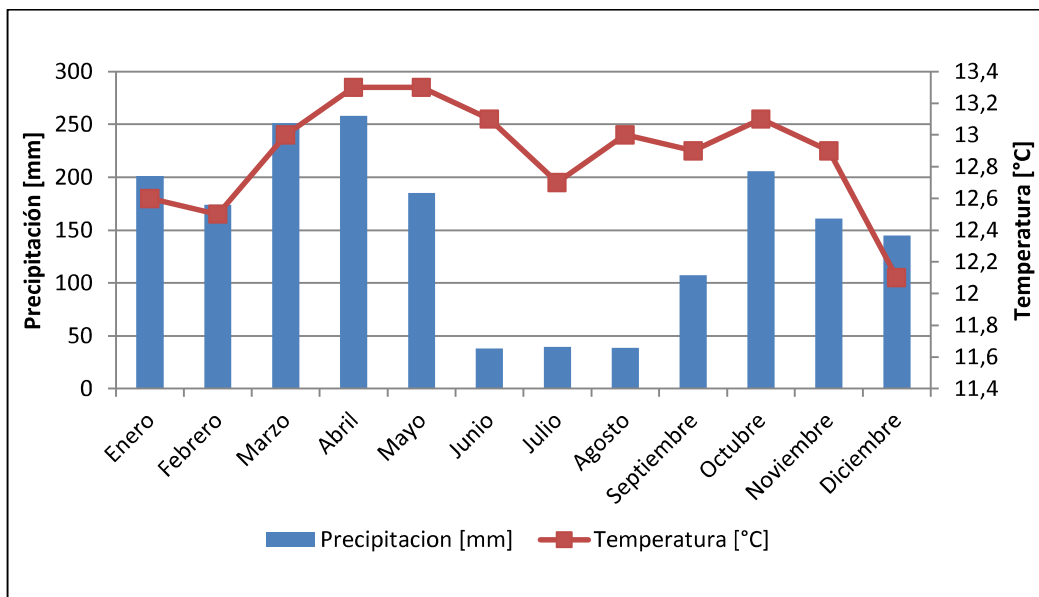


Figura 5. Promedio de la Precipitación y Temperatura Mensuales

Fuente: IEE, MAGAP (2013)

2.1.1 Hidrología

Los principales cuerpos hídricos de las parroquias de San Pedro de Taboada y San Rafael son los ríos Capelo y San Pedro. La cuenca del río Capelo cuenta con una superficie de 3,48 km de cauce principal y aproximadamente de 3 km de 2 quebradas que lo alimentan y son drenajes menores: la quebrada Santa Isabel y la quebrada Calicanto, mismas que en el presente proyecto se les asignará los códigos de P1 Y P2, respectivamente (GADMUR, 2012).

2.1.2 Aspectos Socioeconómicos

Según el censo realizado por parte del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el año 2010, el cantón Rumiñahui cuenta con 85 852 habitantes, de los cuales 43 935 son mujeres y 41 917 son hombres. El 58,81% de la población del cantón Rumiñahui corresponde a la población económicamente activa (PEA) es decir 42 335 habitantes. Comparando con el porcentaje nacional que es 43,2% y con el porcentaje provincial que es de 41,6% se determina que el porcentaje del cantón Rumiñahui es mayor a los mencionados anteriormente. Las actividades desarrolladas por los habitantes del cantón se exponen en la Tabla 8, (GADMUR, 2012).

Tabla 8. Principales Actividades Económicas

Actividad	Porcentaje de PEA
Comercio al por mayor y menor	24
Industria Manufacturera	20
Construcción	8
Enseñanza	7
Empl.Admin.Publ.	7
Restaurantes y Hoteles	6
Transporte y Almacenamiento	6
Administrados de Hogares	6
Servicios Administrativos	6
Actividades Profesionales	5
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	5
Total	100

Fuente: (GADMUR, 2012)

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

Por otra parte, en el cantón Rumiñahui, la pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), engloba un porcentaje de 19,13 %, este porcentaje nos indica que casi un cuarto de la población no cuenta con los ingresos que son necesarios para cubrir sus necesidades (GADMUR, 2012).

2.1.3 Servicios Básicos

Para realizar el análisis del porcentaje de población del cantón Rumiñahui, que cuenta con servicios básicos como son: agua potable, alcantarillado, luz eléctrica y recolección de basura se consideraron los sectores censales INEC.

Los poblados de Rumipamba, La Moca, San Guillermo, Los Tubos, El Taxo, Barrio Salgado y La Libertad, que se encuentran ubicados al sur del cantón Rumiñahui, poseen menor cantidad de viviendas con servicios básicos. Con respecto a la distribución de agua potable en el cantón Rumiñahui, cuenta con 12 vertientes y 6 pozos, que producen 511,31 L/s para agua apta para el consumo humano (GADMUR,

2012). En la Tabla 9 se detalla la cobertura existente de Agua Potable y Alcantarillado en el Cantón Rumiñahui.

Tabla 9. Cobertura de Agua Potable y Alcantarillado

Actividad	Porcentaje de Cobertura
Agua Potable Sector Urbano	96%
Agua Potable Sector Rural	94%
Alcantarillado Sector Urbano	94%

Fuente: (GADMUR, 2012)

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

Las aguas residuales producidas en la zona son eliminadas sin ningún tratamiento y de forma directa en los cuerpos de agua. En este caso de estudio del río Capelo se observa que el sistema de alcantarillado y de aguas domésticas son evacuadas de forma directa.

En cuanto al servicio básico de recolección de basura, en la zona de estudio, los desechos sólidos domiciliarios no cuentan con ningún tipo de clasificación, por lo cual el cantón Rumiñahui cuenta con 154 gestores de residuos artesanales que son medianos y otros tecnificados, los cuales se encuentran a cargo de recolectar papel, cartón, plástico, llantas, baterías, tanques, chatarra entre otros materiales que se puede reciclar o reutilizar (GADMUR, 2012).

2.1.4 Uso De Suelo

Según el uso y ocupación del suelo en el cantón Rumiñahui, se cuenta con los siguientes usos de suelo (ver Anexo 2), según la ordenanza que se sustenta en los requerimientos ciudadanos (GADMUR, 2012).

- Residencial: Este suelo es destinado exclusivamente a viviendas, combinadas o con otros suelos que se encuentren compatibles con la ordenanza. Este se clasifica en (R1 y R2), que tengan Categoría I según el CIU (impacto ambiental no significativo)
- Residencial Combinado: Este suelo es destinado exclusivamente a actividades residenciales, se clasifica en (RC1, RC2, RC3, RC4), que se encuentren en las

siguientes categorías según el CIU: Categoría I (impacto ambiental no significativo) o Categoría II (bajo impacto ambiental).

- **Múltiple:** Este suelo es destinado exclusivamente con actividades relacionadas con el comercio, las zonas o suelos de usos múltiples se clasifican en (M1, M2, M3), esto según la cobertura y la intensidad de las actividades que se vayan a realizar, en esta clasificación no se permite las actividades industriales que contengan usos múltiples y actividades residenciales.
- **Industrial:** Este suelo es destinado exclusivamente para actividades de procesamiento o transformación de materia prima, para realizar piezas, productos o también bienes.
- **Equipamientos:** Este suelo es destinado a las actividades sociales que brinden instituciones a la comunidad, pueden ser de carácter público, privado o mixto como por ejemplo servicios de educación, cultura, recreación, salud, etc.
- **Protección Natural:** Este es un suelo que no es urbanizable, es con estricto uso a la conservación y protección del suelo para asegurar la calidad ambiental, el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable. Son las áreas naturales donde se conservará la biodiversidad del cantón Rumiñahui.
- **Residencial rural:** Este suelo corresponde a los asentamientos humanos que se encuentren vinculados con actividades agrícolas, forestales, pecuarias y piscícolas.
- **Patrimonial, Arquitectónico y Cultural:** Este suelo es ocupado por edificaciones o elementos que sean parte del legado histórico, arquitectónico, cultural y que contenga un valor patrimonial, los cuales se debe preservar, así como recuperar.

2.1.5 Cobertura Vegetal

Del total de la superficie con la que cuenta el cantón Rumiñahui (13 576,04 ha), el 37,19% ocupa el sector pecuario, mientras que el 25,06% refiere a una zona de conservación y protección. La zona destinada a plantaciones forestales que se usan para la producción y la protección, equivale un 6,96%, en este caso existen dos tipos de especies forestales los cuales son el eucalipto y el pino. En la siguiente Tabla 10, se detalla la superficie de cobertura vegetal del cantón Rumiñahui de una forma detallada.

Tabla 10. Superficie de Cobertura Vegetal del Cantón Rumiñahui

Uso	Superficie (Ha)	Porcentaje (%)
Agrícola	47,86	0,35
Agropecuario mixto	183,35	1,35
Agua	15,53	0,11
Antrópico	3932,13	28,96
Conservación y Protección	3402,17	25,06
Pecuario	5049,46	37,19
Protección o producción	945,54	6,96
Total	13576,04	100

Fuente: (GADMUR, 2012)

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

2.1.6 Estado del Río Capelo

El río Capelo tiene 3,48 km de longitud en su cauce principal, convirtiéndose en un cuerpo de agua secundario de las parroquias de San Rafael y San Pedro de Taboada (GADMUR, 2012).

El principal problema del cuerpo hídrico es la gran cantidad de asentamientos de las zonas urbanas que se encuentran cerca de las orillas del río, debido a la geografía del cantón Rumiñahui, ya que muchos de los ríos cruzan y son parte de conjuntos habitacionales, industrias, zonas residenciales y haciendas. Estos asentamientos producen una alta carga contaminante, ya que no existe un control de efluentes de aguas residuales domésticas e incluso industriales, que se descarga de una forma directa en el río Capelo (ver Anexo 3).

2.1.6.1 Principales fuentes de Contaminación

Debido al crecimiento poblacional de las parroquias de San Pedro de Taboada y de San Rafael, se ha generado el crecimiento de una inadecuada disposición de residuos domésticos e industriales. Además, con la gran cantidad de asentamientos urbanos los cuales realizan sus descargas directas de aguas servidas, sin previo tratamiento lo que genera diversos niveles de contaminación. Esto ha sido la principal causa para

provocar una considerable degradación y contaminación del cuerpo de agua. (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales y Secretaria Ambienta)

En la zona en que se encuentra ubicado el río Capelo, debido a una deficiente gestión ambiental y sanitaria, existen tuberías que descargan aguas residuales domésticas de forma directa hacia el río. Adicionalmente, existe acumulación de desechos sólidos en las zonas aledañas, lo cual es un gran problema, ya que se puede propagar enfermedades hacia las casas que se encuentran cerca al cuerpo de agua (GADMUR, 2012).

2.2 Metodología de Muestreo

2.2.1 Temporalidad del estudio y selección de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo fueron seleccionados de acuerdo a una visita previa a la zona de estudio, donde se identificó el estado del río Capelo y las quebradas que se unen a dicho cuerpo de agua. Otro objetivo de realizar una visita previa a la zona de estudio, fue verificar las rutas de acceso, conjuntamente con un permiso de ingreso, en caso de que el punto a monitorear se encuentre dentro de la propiedad privada. De acuerdo a dicha visita se realizó el análisis de los potenciales puntos de muestreo, y se determinó 6 puntos estratégicamente ubicados a lo largo de las 2 quebradas principales y a lo largo del río Capelo, según se señalan en la Tabla 11.

Tabla 11. Coordenadas de los puntos de muestreo

Código	Nombre	X	Y
P0	Condiciones Iniciales	778339.52	9963128.26
P1	Quebrada Santa Isabel	781308.98	9963326.14
P2	Quebrada Calicanto	781330.00	9963297.00
P3	Inicio del río Capelo	781334.36	9963335.97
P4	Mitad del río Capelo	782760.00	9965337.00
P5	Final del río Capelo	782477.00	9966440.00

Fuente: Visita de campo

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

En el Anexo 4 se detalla los puntos de muestreo del río Capelo.

2.2.2 Descripción de los puntos de Muestreo

2.2.2.1 P0 – Condiciones iniciales

Este punto se localiza en el Barrio Pinos de Miranda, que se encuentra 2 km aproximadamente aguas arriba de la Quebrada Santa Isabel y se utilizará como condiciones iniciales para el presente trabajo. El sitio de muestreo no presenta presencia de descargas de aguas residuales directas, con lo que respecta a la acumulación de basura en las riberas como se observa en la Figura 6, existe gran cantidad de desechos sólidos. En los alrededores se nota caminos de tierra y cultivos familiares, existen viviendas en la parte superior y esto ocasiona que se arrojen desechos sólidos a la ribera de la Quebrada Santa Isabel. Existen bosques y terrenos de vegetación autóctona.



Figura 6. Punto P0 (Condiciones iniciales)

Fuente: Visita de campo

2.2.2.2 P1 – Quebrada Santa Isabel

Se encuentra en el barrio Fajardo, parroquia de San Pedro de Taboada. En la Figura 7 se observa que la quebrada está principalmente contaminada por descargas de aguas residuales que se realizan de forma directa, la mayoría provienen de hogares que se encuentran ubicados a la ribera de la quebrada. Además, que existe acumulación de desechos sólidos que contribuyen a la contaminación del agua y de su cauce.



Figura 7. Punto P1 (Quebrada Santa Isabel)

Fuente: Visita de campo.

2.2.2.3 P2 – Quebrada Calicanto

Se encuentra en el barrio Fajardo, parroquia de San Pedro de Taboada. En la Figura 8 se visualiza que hay presencia de hidrocarburos en el agua, por lo cual se llega a la conclusión que aguas arriba existe descargas de dicho material ya sea por industrias o por mecánicas que existen en el sitio.



Figura 8. Punto P2 (Quebrada Calicanto)

Fuente: Visita de campo

2.2.2.4 P3 – Inicio del río Capelo

Este punto se encuentra en el barrio Fajardo, parroquia de San Pedro de Taboada, representa el inicio del río Capelo. Las aguas que llegan a este sitio provienen de la unión de la Quebrada Santa Isabel y de la Quebrada Calicanto, se debe mencionar que también se observa en la Figura 9, descargas de agua residual de forma directa y

sin previo tratamiento, además que existe acumulación de desechos sólidos en la ribera del río.



Figura 9. Punto P3 (Inicio Río Capelo)

Fuente: Visita de campo

2.2.2.5 P4 – Mitad río Capelo

Se encuentra ubicado en el Barrio San Pedro, parroquia de San Pedro de Taboada. Este punto representa la mitad del río Capelo aproximadamente se encuentra a 1.80 km del inicio del río, en la Figura 10 se observa que las descargas de hogares que se encuentran ubicados en la rivera del cuerpo de agua se realiza de forma directa, sin previo tratamiento, existe la acumulación de basura en las riveras y presencia de animales.



Figura 10. Punto P4 (Mitad río Capelo)

Fuente: Visita de campo

2.2.2.6 P5 – Final río Capelo

Se encuentra ubicado en el Barrio Capelo, parroquia de San Rafael, este punto representa el final del río, en la Figura 11 se observa que existen tuberías que descargan aguas de uso doméstico directamente sin previo tratamiento. En este punto existen conjuntos habitacionales, los cuales generan desechos sólidos ocasionando acumulación en la riberas del cuerpo de agua.



Figura 11. Punto P5 (Final río Capelo)

Fuente: Visita de campo

Una vez definidos los puntos de muestreo, se procedió al levantamiento de información de campo.

2.3 Medición de Parámetros Hidráulicos

Los parámetros hidráulicos medidos fueron: ancho, profundidad, velocidad de corriente y caudal. El ancho y la profundidad fueron levantados con cinta, mientras que para la medición de velocidad y determinación del caudal se utilizó el método del trazador, debido a que es un método sencillo de aplicar y con resultados aceptables (FAO, 2014). Este proceso se lo realizó siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Se seleccionaron dos secciones transversales en el cuerpo de agua donde el flujo sea uniforme y constante.
2. Se procedió a adicionar el trazador (colorante) aguas arriba de la primera sección transversal, como se indica en la Figura 12. En este caso de estudio se utilizó anilina de color rojo.

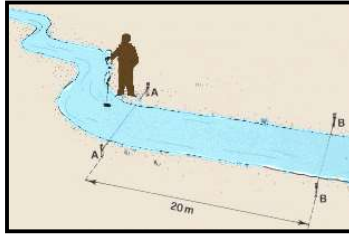


Figura 12. Medición del caudal con colorantes.

- Se midió el tiempo de recorrido en la mancha de colorante entre la sección transversal 1 y 2, como se indica en la Figura 13 y Figura 14 respectivamente.



Figura 13. Inicio del Colorante para el tiempo 1.



Figura 14. Llegada del Colorante para el tiempo 2.

- Se repitió el ensayo al menos 2 veces para obtener un promedio de las condiciones del sitio. El tiempo medio se lo calcula mediante la Ecuación 2

$$tm = \frac{t1+t2}{2}$$

Ecuación 2. Tiempo medio

- Se calculó la velocidad del agua en (m/s) utilizando la siguiente Ecuación 3.

$$Velo. agua = \frac{Distancia Punto Inicial al Punto Final (m)}{tm (s)}$$

Ecuación 3. Velocidad del agua

6. Se levantó la sección transversal media del cuerpo de agua como se explica en la siguiente descripción:
- Se estableció una zona recta de estudio en el cuerpo de agua, normalmente se toma de 5 a 20 m como se muestra en la Figura 15.

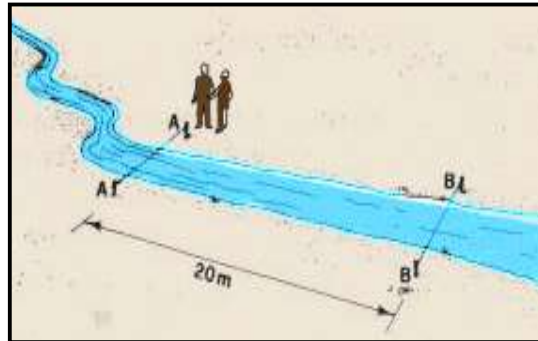


Figura 15. Sección transversal

- Se procedió a tomar la profundidad, este resultado debe estar en metros, y las distancias deben ser iguales esto se realizó al inicio y al final de la zona de estudio. Como se puede observar en la Figura 16.

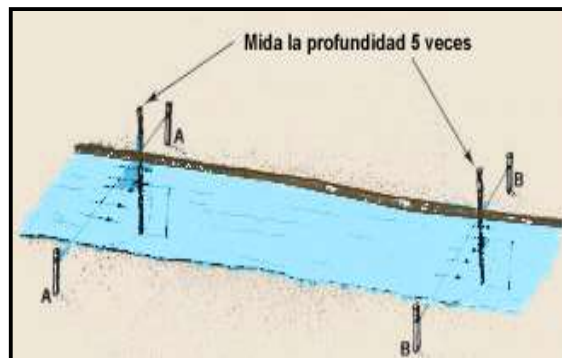


Figura 16. Medición de la profundidad

- Para calcular la profundidad media se utiliza la siguiente Ecuación 4:

$$Profun. Media (m) = \frac{\sum Profundidades (m)}{5}$$

Ecuación 4. Profundidad media

- Para calcular la sección transversal del primer punto se midió la anchura del cuerpo de agua y se procedió a multiplicar por la profundidad media como se indica en la Ecuación 5.

$$\text{Sección transversal (m}^2\text{)} = \text{Profun. Media (m)} \times \text{Ancho del Río (m)}$$

Ecuación 5. Sección transversal

- Se realizó el mismo proceso en la sección transversal 2.
- Como último paso para establecer la sección transversal media se utilizó la siguiente Ecuación 6.

$$\text{Secc. Trans. Media (m}^2\text{)} = \frac{\text{Secc. Transversal 1 (m)} + \text{Secc. Transversal 2 (m)}}{2}$$

Ecuación 6. Sección transversal media.

7. Por último, se procedió a calcular el caudal del agua empleando la siguiente Ecuación 7:

$$Q \left(\frac{l}{s} \right) = \text{Velo. agua} \left(\frac{m}{s} \right) \times \text{Sección Transversal Media (m}^2\text{)} \times 1000 \left(\frac{l}{m^3} \right)$$

Ecuación 7. Caudal

2.4 Parámetros Físicoquímicos

Para la evaluación de los parámetros físicoquímicos del agua in situ se realizó la toma de muestras compuestas en 3 diferentes secciones del río: margen derecho, centro y margen izquierdo, en los puntos definidos (ver Tabla 11). Adicionalmente, se tomaron muestras simples en envases de 1 galón, recolectadas. Esto se realizó con la finalidad de analizar parámetros como: nutrientes, el contenido de sólidos, DQO y DBO₅ en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA). Además, se tomó una muestra en una funda estéril para la determinación de coliformes fecales.

Las muestras se preservaron según lo indicado en la Tabla 12.

Tabla 12. Almacenamiento y Preservación de las muestras

Parámetro	Recipiente	Tipo de Muestra	Preservación	Tiempo límite de análisis
DBO ₅	P	Simple	4°C	24 h
DQO	P	Simple	4°C y H ₂ SO ₄ pH <2	28 d
Nitratos	P	Simple	4°C y H ₂ SO ₄ pH <2	48 h
Fosfato	P	Simple	4°C	48 h
Sólidos disueltos	P	Simple	4°C	24 h
Sólidos suspendidos	P	Simple	4°C	48 h
Sólidos Totales	P	Simple	4°C	24 h
Coliformes Fecales	Funda estéril	Simple	4°C	24 h

Fuente: (SNET, 2010)

Elaborado: Calo A., Guerrero F.

2.4.1 Equipos y Materiales

Los equipos y materiales utilizados para la medición in situ, se trasladaron de una forma cuidadosa al sitio de estudio. Las mediciones en los diferentes puntos a lo largo del cuerpo de agua fueron registradas en una hoja de campo (ver Anexo 5). Para la medición de los diferentes parámetros se procedió a calibrar y lavar todos los instrumentos y equipos que tendrían contacto directo con el agua. Este procedimiento se lo realizó en cada uno de los puntos de estudio, buscando el lugar más seguro en la toma de muestras, para obtener resultados representativos y cuidar la seguridad de la persona que se encuentra a cargo de la realización de la toma de muestras.

En la Tabla 13 se detalla los equipos utilizados en el trabajo in – situ.

Tabla 13. Equipos utilizados en el trabajo in-situ.

Equipo	Parámetro	Rango de medición
Sonda Multiparamétrica – OAKTON – 600	Temperatura	-10,0°C a 60,0 °C
	Conductividad Eléctrica	0-200 µS/cm
	Oxígeno Disuelto	0-50 mg/L
	Cloruro de Sodio	0 – 100 ppt
	Sólidos Disueltos Totales	200 ppt
	Oxígeno de Saturación	0 a 100%
Turbidímetro Hach	Turbidez	0 – 1000 NTU
pH Metro	pH	0-14

Elaborado: Calo A., Guerrero F.

2.4.2 Análisis en laboratorio

Los análisis de las diferentes muestras que se tomaron a lo largo del río Capelo, se llevaron a cabo en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), de la Escuela Politécnica Nacional, durante los meses de febrero y marzo del 2019.

Los parámetros en el laboratorio se realizaron de acuerdo a los procedimientos que se indican en la Tabla 14.

Tabla 14. Métodos utilizados en el laboratorio

Parámetro	Método
DQO	Standard Methods 5220 D
DBO ₅	APHA 5210 B
Nitratos	Standard Methods 8171 NO ₃ -E
Fosfatos	Standard Methods 8098 P-E

Continuación **Tabla 14.** Métodos utilizados en el laboratorio

Parámetro		Método
Contenido de Sólidos	Totales	Standard Methods 2540 B
	Totales Volátiles	Standard Methods 2540 E
	Suspendidos Totales	Standard Methods 2540 D
	Disueltos Totales	Standard Methods 2540 C
Coliformes Fecales		APHA 9222 D

Fuente: (SNET, 2010)

Elaborado: Calo A., Guerrero F.

2.5 Cálculo del Índice de Calidad del Agua

En el cálculo de Índice de Calidad del Agua se tomaron los resultados de los análisis realizados en laboratorio y campo. Y por lo tanto para el cálculo se asignaron los siguientes parámetros:

- Coliformes fecales
- pH
- DBO₅
- Nitratos
- Fosfatos
- Temperatura
- Turbidez
- Oxígeno disuelto
- Sólidos disueltos totales

De acuerdo a los resultados registrados en campo y laboratorio se aplicó la ecuación 1.

Para el coeficiente de ponderación se asignó a cada parámetro un valor de acuerdo a grado de influencia en la contaminación del agua Tabla 15.

Tabla 15. Coeficiente de ponderación para cada parámetro

Parámetro	W_i
Coliformes fecales	0,16
DBO ₅	0,11
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Oxígeno disuelto	0,17
pH	0,11
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos disueltos totales	0,07
Σ	1

Fuente: (Gomez, Naranjo, Martinez, & Gallego, 2007)

Elaborado: Calo A., Guerrero F.

2.6 Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados acuáticos se recolectaron verificando el sitio de muestreo, con el fin de abarcar todos los hábitats, por lo cual es importante identificar los sustratos (arena, grava, sedimentos, piedras, plantas acuáticas, hojarasca, etc.). Para la realización del muestreo de los macroinvertebrados se siguió el protocolo expuesto en el Anexo 6.

Los macroinvertebrados colectados fueron separados, clasificados e identificados en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental con apoyo del Ing. Hamilton Mosquera. Para la realización del conteo e identificación de los macroinvertebrados (Anexo 7) se tomó en consideración los índices a evaluarse: BMWP-R, ABI y el ASTP.

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis de Resultados

El análisis de los resultados se efectuó por cada punto de muestreo, para tener una visión de la variabilidad de la calidad del agua del río Capelo en todo su recorrido. Se debe considerar que los puntos de muestreo P0, P1, P2, P3, P4 Y P5, corresponden a las muestras desde aguas arriba hacia aguas abajo. En la Tabla 16 indica los valores registrados in situ y laboratorio de los puntos muestreados.

Tabla 16. Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos

	Parámetros	P0	P1	P2	P3	P4	P5
CAMPO	Caudal (L/s)	45,83	121,93	184,76	214,88	1061,00	1202,23
	Temperatura (°C)	16,47	19,00	18,23	18,47	18,47	21,23
	Turbidez (NTU)	3,43	33,90	16,10	27,73	18,73	14,73
	Conductividad (μS/cm)	123,53	251,26	267,16	263,23	219,27	215,53
	pH	7,03	7,54	7,65	7,02	7,78	7,82
	OD (%)	68,30%	22,00%	8,27%	19,20%	55%	59%
	OD (mg/L)	6,86	1,87	0,74	1,44	5,28	5,33
	NaCl (ppm)	162,30	337,20	362,80	351,80	290,80	287,13
	SDT (ppm)	169,77	344,03	366,90	360,13	298,67	299,70
LABORATORIO	ST (mg/L)	244,00	477,33	452,00	436,67	219,33	181,33
	SVT (mg/L)	39,33	51,33	68,67	76,67	9,33	26,67
	SS (mg/L)	15,00	39,00	31,50	34,50	34,00	28,00
	SD (mg/L)	135,60	291,00	348,50	254,80	240,00	308,00
	DQO (mg/L)	2,00	39,00	54,00	57,00	37,00	44,00
	DBO ₅ (mg/L)	2,00	29,00	28,00	35,00	21,00	15,00
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,40	1,10	1,20	1,30	1,70	1,50
	(PO ₄) ³⁻ (mg/L)	1,11	3,71	4,48	4,15	2,91	2,67
	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1,10x10 ³	1,40x10 ³	9,30x10 ³	2,40x10 ⁵	1,10x10 ⁵	2,4x10 ⁵

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.1 Caudal

El aforo realizado indica que en los dos puntos finales P4 y P5 el caudal es mayor: 1061,00 y 1202,23 L/s respectivamente, generados por precipitaciones días antes al muestreo y por la estructura de la sección transversal, ya que el ancho y la profundidad de P4 y P5 son mayores con respecto a los puntos P0, P1, P2 Y P3. Por su parte cabe mencionar que el punto P0 presenta el menor caudal 45,83 L/s.

En la Figura 17 se observa que los valores de los caudales, van aumentando de un punto con respecto al siguiente punto, esto se da por la suma de caudales del sistema, las condiciones meteorológicas que se presentaron días anteriores y por la diferencia que existe de un punto hacia otro en las secciones transversales.

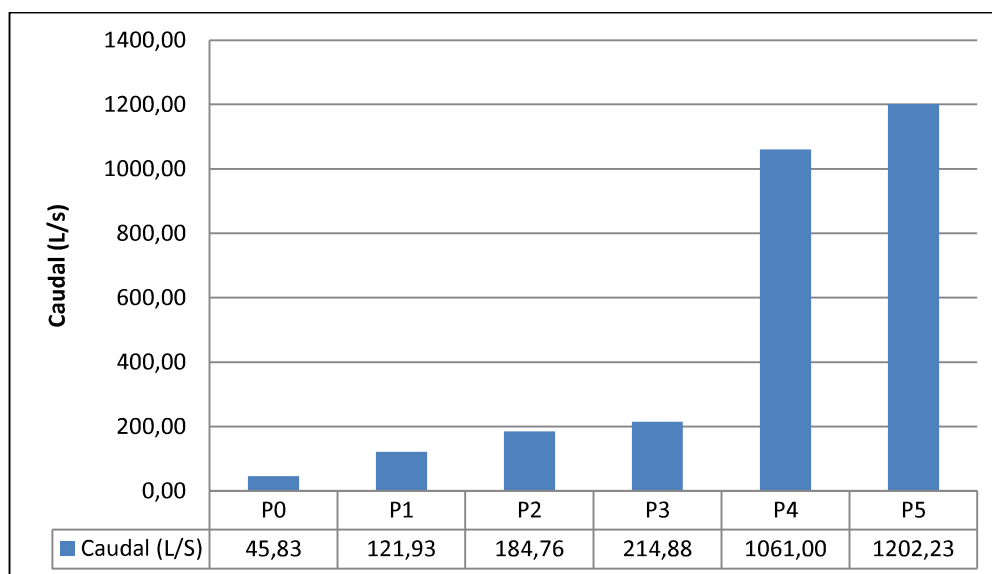


Figura 17. Caudal

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.2 Turbidez y Sólidos Suspendidos

En el muestreo realizado, se evidencia (Figura 18) que el valor más alto de turbidez está en los puntos 1 y 3 con 33,90 y 27,73 NTU respectivamente. Coincidentemente, los puntos con mayor cantidad de sólidos suspendidos son punto 1 y 3, con 39,00 y 34,50 mg/l respectivamente, lo cual nos indica que por la presencia de descargas directas al cuerpo de agua (desagües), se produce aumento de los sólidos suspendidos presentes en el cuerpo de agua. Adicionalmente, estos valores se

incrementan debido a las lluvias producidas días antes del muestreo, lo cual ocasiona arrastre de material particulado desde la cuenca. La presencia de sólidos suspendidos puede generar la formación de bancos de sedimentos, cuales poseen efectos negativos en la fauna y flora del río.

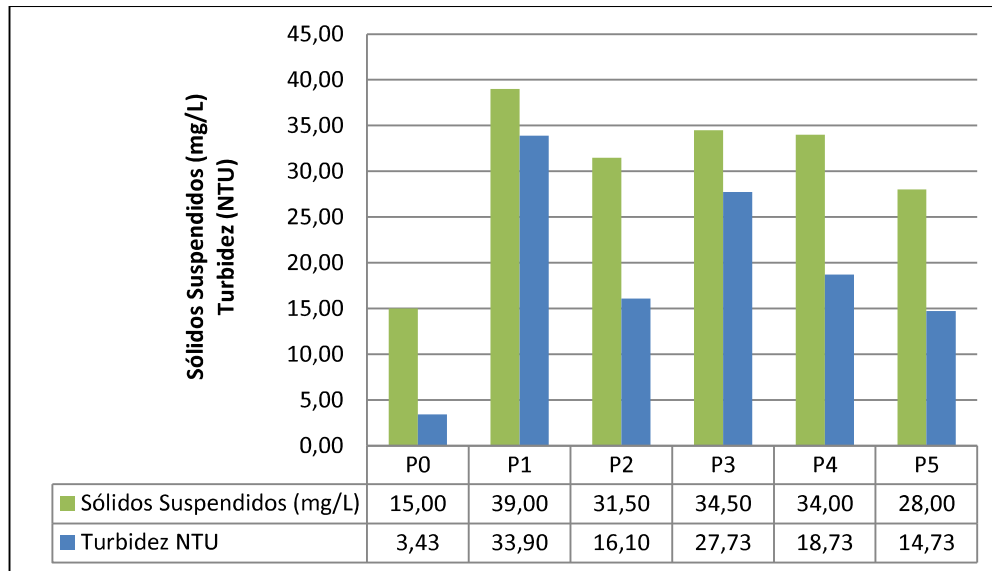


Figura 18. Turbidez y Sólidos Suspendidos

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.3 Conductividad y Sólidos Disueltos

Los valores obtenidos, comparándolos con respecto al punto “condiciones iniciales” (P0), son elevados en términos generales. Los puntos P1, P2, P3 P4 Y P5 varían entre 123,53 y 267,17 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 19). En todo el cauce principal se recibe descargas de forma directa de aquellas zonas urbanizadas presentes en la zona, lo que ocasiona se presenten estas características en el cuerpo de agua. Los valores de sólidos disueltos totales en los diferentes puntos varían entre 135,60 a 348,50 mg/L. La conductividad está asociada a la presencia de sólidos disueltos que poseen la capacidad de ionizarse. Como se indica en la Figura 19, la tendencia entre los valores de los dos parámetros es similar, demostrando que a lo largo del cuerpo de agua se observa un incremento en estos dos parámetros.

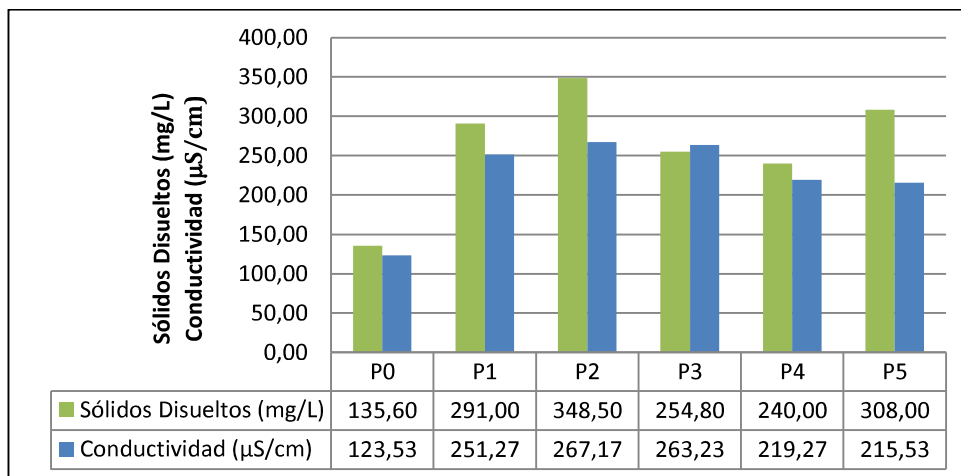


Figura 19. Conductividad y Sólidos Disueltos

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.4 Nutrientes

Los fosfatos en los puntos muestreado en el tramo del río Capelo presenta valores elevados con respecto al P0 (Condiciones iniciales), ya que varían entre 1,11 y 4,48 mg/L (Figura 20) se relacionan con la presencia de detergentes fosfatados, que constituyen una parte de la descarga domiciliaria que llega directamente al río.

El valor más alto de nitratos es en el P4 con 1,70 mg/L, esto se debe a que en las orillas del río existe actividades agrícolas con la utilización de fertilizantes lo cual ayuda al aumento de este parámetro en el río.

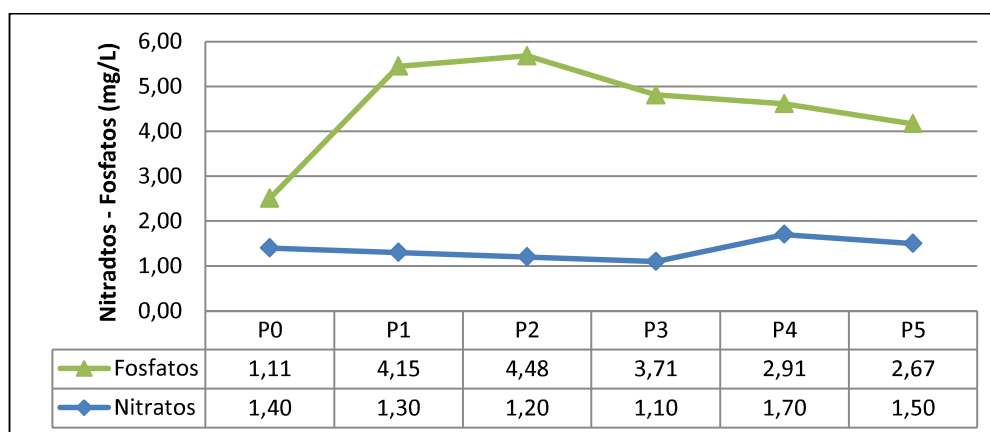


Figura 20. Nutrientes

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.5 Temperatura y Oxígeno Disuelto

En los datos obtenidos se observa que la temperatura se encuentra en un rango de 16,47 a 21,23 °C, presentando un aumento en el recorrido de aguas abajo. Se observa que el valor de oxígeno disuelto en el P0 es mayor con respecto a los demás puntos analizados (Figura 21), estos valores oscila entre 6,86 y 0,74 mg/L. En el P2 al tener un valor menor de OD, tiene como consecuencia una afectación importante en la conservación de comunidades acuáticas.

Se evidencia que en los puntos P1, P2, P3 cuenta con un OD < 2 mg/L lo cual es letal para la mayor parte de las especies acuática debido a que al momento de la toma de la muestra se evidencio desechos humanos, desechos animales y el aumento de la temperatura.

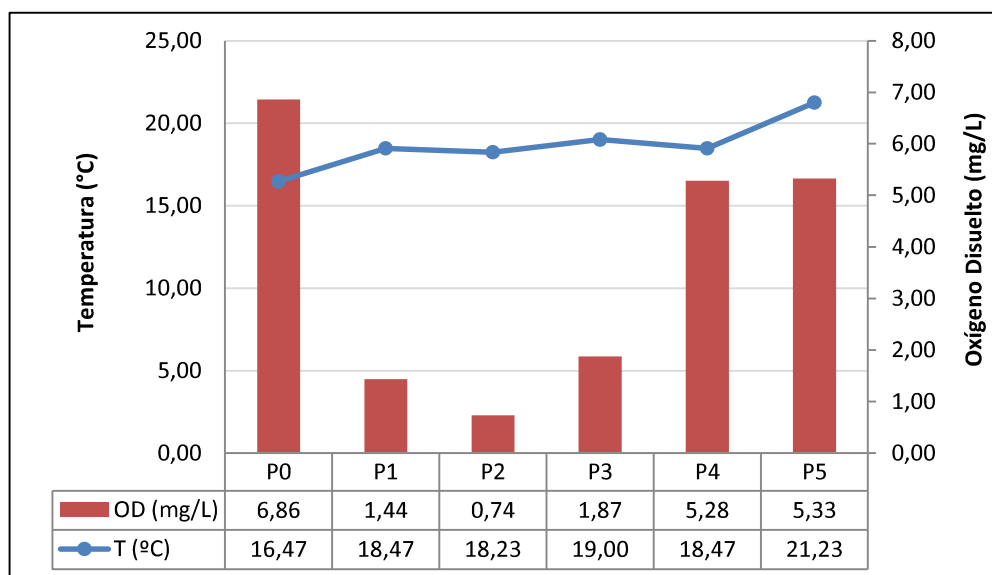


Figura 21. Oxígeno Disuelto y Temperatura

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.6 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH en cada punto muestreado se encuentra en un rango de 7,03 – 7,82 (Figura 22), lo que representa condiciones neutras dentro de todo el tramo de estudio. Se observa que el mayor pH (7,82) se presenta en el punto final del río (P5), donde se recoge una mayor descarga de agua residual doméstica respecto a los demás puntos. En el punto P3 (Inicio del Río), el pH baja con respecto a los puntos P1 y P2 (quebradas que

conforman el río), ya que en el recorrido de cada una de las quebradas el caudal va aumentando lo que pudo influir que el pH en el inicio del río sea menor.

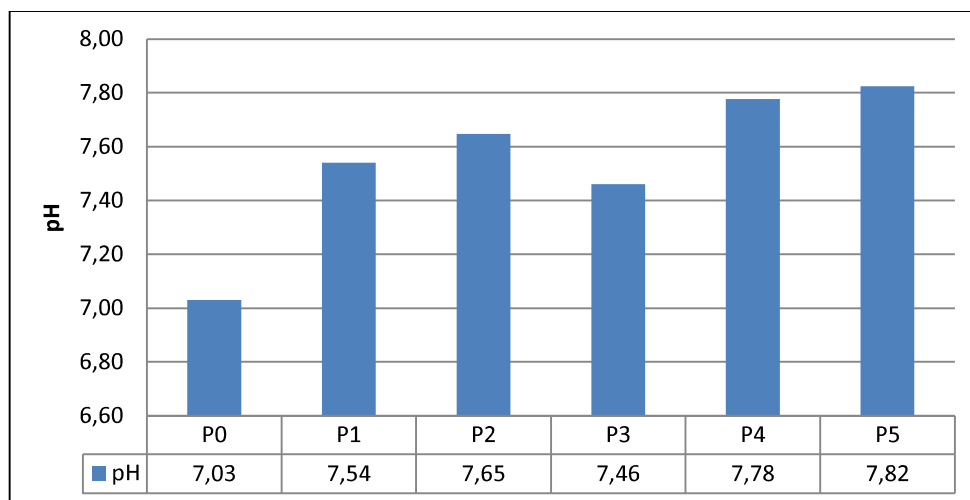


Figura 22. pH

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.7 Coliformes Fecales

En el muestreo realizado los resultados del NMP/100mL de coliformes fecales se muestran en la Tabla 17. En P0 es menor con respecto a los demás puntos a lo largo del río ($1,10 \times 10^3$ NMP/100mL), ya que en comparación con los demás puntos, este está localizado en una zona con poca presencia de actividades humanas (agricultura, ganadería, industrias, etc.). Sin embargo, esta concentración está por sobre los valores esperados como condiciones iniciales. Los puntos con mayor concentración son los puntos P3 y P5, con valores de $2,40 \times 10^5$ NMP/100mL en cada punto, como consecuencia que en estos puntos se recibe descargas de zonas urbanizadas sin ningún tratamiento previo.

Tabla 17. Valores de coliformes fecales encontrados en cada punto de muestreo

Parámetro	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	$1,10 \times 10^3$	$1,40 \times 10^3$	$9,30 \times 10^3$	$2,40 \times 10^5$	$1,10 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

La Figura 23 muestra la variación de NMP/100mL de coliformes fecales en el tramo de estudio, presentándose una diferencia de más de 2 log entre las condiciones iniciales y el punto final del río.

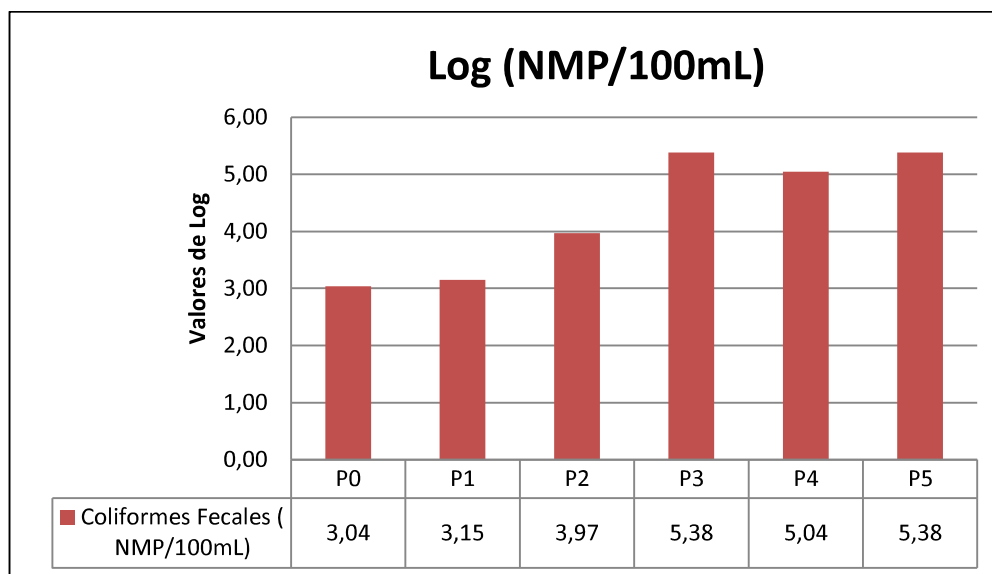


Figura 23. Variabilidad de Coliformes Fecales en el tramo de estudio

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.8 Índice de la Calidad de Agua

Los valores calculados del índice de calidad del agua (ICA-NSF), nos indica que el río Capelo se encuentra en condiciones malas con un valor promedio a lo largo del cauce de 38,58%, mientras que el punto P0, utilizado en este estudio como condiciones iniciales, tiene condiciones medianamente buenas con un valor de 60,99% (Figura 24). Se observa una variación en los puntos P1, P2 y P3 con respecto a los puntos P4 y P5, ya que acontecieron fuertes precipitaciones días anteriores al muestreo y esto ayudó al cuerpo de agua a aumentar la dilución de contaminantes.

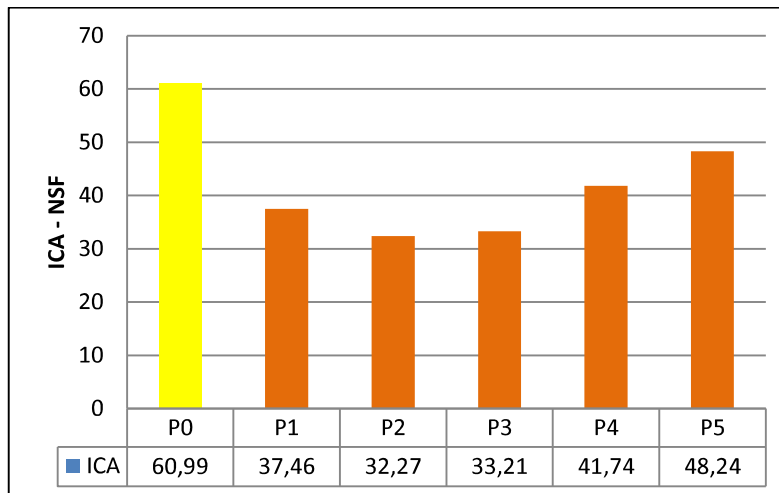


Figura 24. Índice de Calidad del Agua de los puntos de Muestreo

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

En el Anexo 9 se detalla el mapa de variación de la calidad del agua del Índice de la calidad del Agua (ICA).

3.1.9 Abundancia de Individuos de Macroinvertebrados

En el muestreo de macroinvertebrados se contabilizaron un total de 1676 individuos. Donde se registran 5 ordenes, 6 familias y 2 subfamilias. Las taxas más representativas son los Chironomidae con el (99,40%) y Tubificidae con el (0,30%), donde los Chironomidae presentan una mayor tolerancia a la contaminación y estuvieron presentes en 5 de los 6 puntos de muestreo.

El punto P0 (Condiciones iniciales) es el que posee la mayor abundancia de individuos mientras que el punto con menor abundancia es el punto P2 con solo un individuo. Durante el muestreo y análisis no presenta una gran variación de familias debido a que la familia dominante es la de Chironomidae. El punto P1 posee las más alta riqueza taxonómica con 4 familias.

En la Figura 25, la composición y la estructura de los macroinvertebrados durante la campaña de muestreo nos indica que la familia Chironomidae es la más representativa en la mayoría de los puntos de muestreo, dentro de esta la subfamilia dominante es el Orthoclaaiinae en el punto P0, P1, P3 y P5; mientras la familia tubificidae se encuentra con mayor presencia en los puntos P2, P3 y P5, que son los puntos que se encuentra en lugares más abajo. Estos sitios tiene la presencia de descargas directas al río,

actividades agrícolas al borde de la ribera por lo cual crea un ambiente perjudicial para el crecimiento y desarrollo de otros organismos que no tengan un mayor tolerancia a la contaminación.

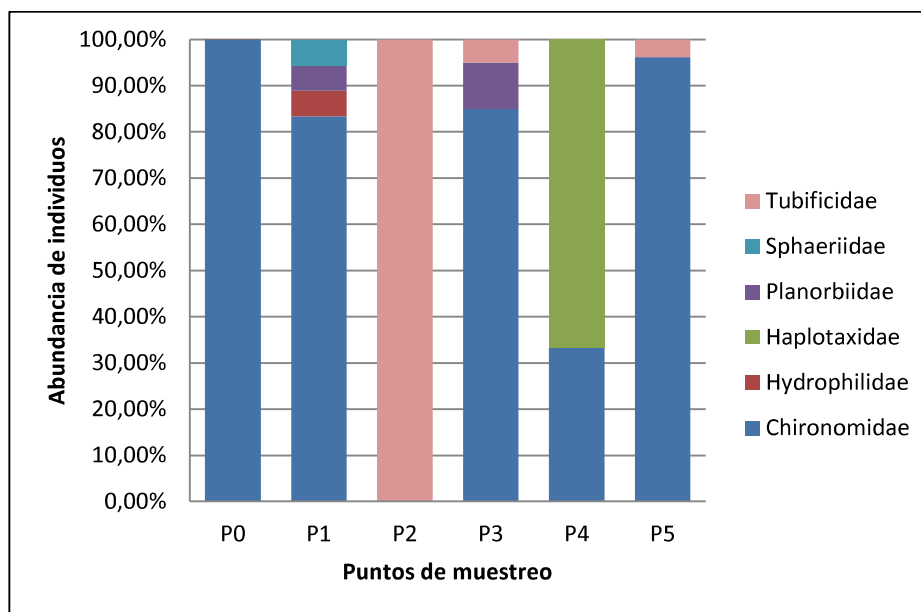


Figura 25. Abundancia de individuos en los puntos de muestreo

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.10 Índices Biológicos: BMWP-R, ABI, ASPT

Se evidencia en la Figura 26 que en el muestreo realizado en todos los puntos los valores del índice BMWP-R son mayores en comparación con el índice ABI a excepción de los puntos P4 y P5, en donde sus valores son similares. Esto nos indica que las exigencias para asignar un puntaje son mayores para el índice ABI en comparación del índice BMWP-R.

En forma general, los valores de ABI están en un rango de 1 a 14 mientras que para el índice BMWP-R este se encuentra en un rango de 1 a 14, analizando estos valores, es posible decir que el río Capelo se encuentra entre las categorías de calidad de agua “Muy Crítica”. En el caso del P0 (Condiciones iniciales), el índice BMWP-R tiene un valor de 5 mientras que en el índice ABI tiene un valor de 8 lo que corresponde a una agua de calidad “Muy Crítica”, esto se puede deber a que los valores de los índices en este punto hayan tenido variaciones estacionarias.

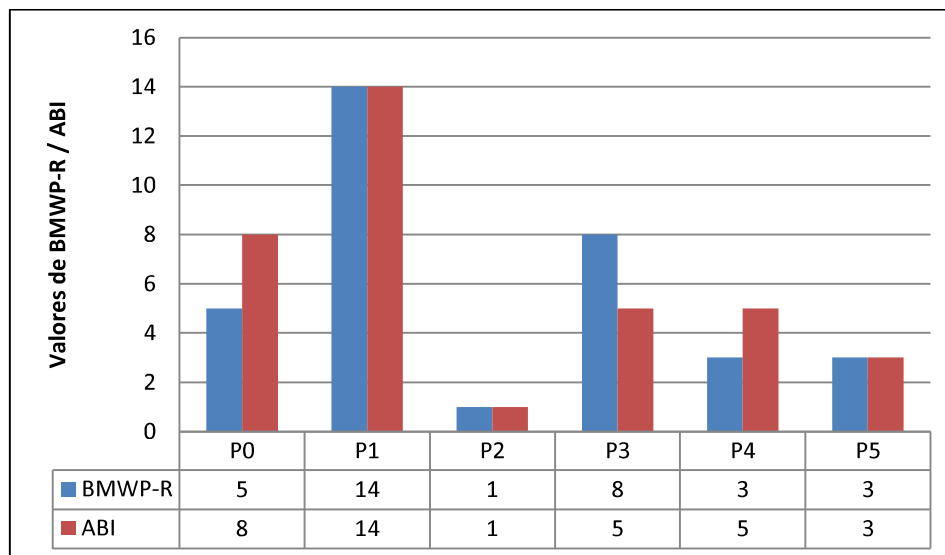


Figura 26. Índice BMWP-R y ABI

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

De acuerdo a los valores que se obtuvo del índice ASTP, durante el muestreo realizado en todos los puntos el valor más alto obtenido es en el P1 con (3,5) mientras que el punto con menor valor es el P2 con (1), lo que indica una calidad de agua fuertemente contaminada. La AASTP está asociada con el promedio de sensibilidad a la contaminación de los diferentes taxones que están presentes en el índice ABI. Los puntos con mayor puntaje están en el P0 con (4), mientras que el punto con menor puntaje es el P2 con (1) y esto coincide con el valor obtenido en el ASTP como se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18. Índices BMWP-R Y ABI

Puntos de Muestreo	BMWP-R	ASTP	ABI	AASTP
P0	5	2,5	8	4
P1	14	3,5	14	3,5
P2	1	1,0	1	1,0
P3	8	2,7	5	1,7
P4	3	1,5	3	1,5
P5	3	1,5	3	1,5

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.1.11 Determinación de posibles usos del río Capelo según la Norma Ecuatoriana.

Con los valores obtenidos de los diferentes parámetros que se evaluaron en el presente estudio, se determina los posibles usos de las quebradas que alimentan al cuerpo de agua y del río Capelo, tomando en cuenta los límites máximos permisibles, de acuerdo a la Tabla 1, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, del Acuerdo Ministerial N°. 028

Como se observa en la Tabla 19, los valores promedio de todo el cauce del río Capelo en su mayoría se encuentran sobre los límites máximos permisibles según la norma. El único valor que se encuentra en rango es el de potencial de hidrogeno (pH), mientras que los otros valores se encuentran muy por encima de los límites máximos permisibles, por lo cual se determina que en las condiciones en las que se encuentran tanto las quebradas como el río Capelo, son inadmisibles para ser fuentes de consumo humano y doméstico. En la quebrada Santa Isabel se observa que no sobrepasa el límite máximo permisible de CF, debido a que no existe una gran cantidad de zona poblada a su alrededor.

Tabla 19. Criterio de calidad para fuentes para consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional

Parámetro	Unidades	Límite máximo Permissible	Quebrada Santa Isabel	Quebrada Calicanto	Valor promedio de río Capelo
pH		6-9	7,54	7,65	7,54
DQO	mg / L	<4	39,00	54,00	46,00
DBO ₅	mg / L	<2	29,00	28,00	23,66
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	2000	1,40x10 ³	9,30x10 ³	1,96x10 ⁵

Elaborado por: Calo A., Guerrero

En la Tabla 20 se observa que los únicos parámetros que cumplen con los criterios de calidad son el potencial de hidrógeno (pH) y los nitratos. A su vez el oxígeno disuelto medido en porcentaje de saturación, sobrepasan dichos criterios normados, y esto nos indica que es muy difícil que exista vida acuática ya que son vulnerables a baja concentración de OD.

Por lo cual podemos determinar que el cuerpo de agua del río y de las quebradas no es apto para la conservación de la vida acuática y silvestre.

Tabla 20. Criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulces.

Parámetro	Unidades	Límite máximo Permisible	Quebrada Santa Isabel	Quebrada Calicanto	Valor promedio de río Capelo
pH		6,5-9	7,54	7,65	7,54
Nitratos	mg / L	13	1,10	1,20	1,50
Oxígeno Disuelto	% de Saturación	>80	22,00%	8,27%	44,44%

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

Al observar la Tabla 21, identificamos que el potencial de hidrogeno (pH) cumple con la norma Acuerdo Ministerial N° 028, mientras que los valores de coliformes fecales sobrepasa los límites máximos permisibles por lo cual se determina que el río Capelo y sus quebradas, no se encuentra en condiciones para poder ser utilizado para aguas de uso agrícola.

Tabla 21. Criterios de calidad de aguas para uso agrícola

Parámetro	Unidades	Límite máximo Permisible	Quebrada Santa Isabel	Quebrada Calicanto	Valor promedio de río Capelo
pH		6-9	7,54	7,65	7,54
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	1000	1,40x10 ³	9,30x10 ³	1,96x10 ⁵

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

En la Tabla 22 se observa que dos de los parámetros que se comparan en este estudio cumplen con los límites máximos permisibles estos son nitratos y SDT, mientras que el valor de coliformes fecales en el río Capelo y sus quebradas se encuentra muy por encima de la norma, por lo cual, si se le desea usar al cuerpo de agua del río Capelo y de sus quebradas para uso pecuario, se debería realizar un tratamiento para bajar los valores de coliformes fecales y así cumplan con los criterios de calidad que se establecen en la norma.

Tabla 22. Criterios de calidad para aguas para uso pecuario.

Parámetro	Unidades	Límite máximo Permisible	Quebrada Santa Isabel	Quebrada Calicanto	Valor promedio de río Capelo
Nitratos	mg / L	50	1,10	1,20	1,50
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	1000	1,40x10 ³	9,30x10 ³	1,96x10 ⁵
Sólidos Disueltos Totales	mg / L	3000	344,03	366,90	319,50

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.2 Discusión

3.2.1 Análisis General de Parámetros Físicoquímicos

Al realizar un análisis general de los parámetros físicoquímicos en las quebradas que alimentan al cuerpo de agua y al río Capelo, se obtuvo promedios de diferentes parámetros los cuales se encuentran en la Tabla 23. Como se observa los valores del pH se encuentran dentro del rango normal para aguas naturales (García, 2001). Con respecto a la temperatura se encuentra en valores altos esto afecta a la cantidad de oxígeno disuelto que puede ser transportada por el cuerpo de agua.

Con respecto a los valores de oxígeno disuelto medidos en concentración y en porcentaje de saturación se determinó que los valores se encuentran bajos por lo cual nos indica que el río y sus quebradas, se encuentra en un nivel alto de contaminación, por lo cual es muy difícil la recuperación de forma natural.

La DBO₅ y la DQO presentan valores muy altos, reflejando la presencia de descargas de aguas residuales sin previo tratamiento, estos aportan con una carga contaminante, y por acciones de biodegradación y químicas consumen el oxígeno del cuerpo de agua, causando disminución y en algunas ocasiones inclusive anulando la capacidad de autodepuración.

Como último parámetro para establecer un análisis general del río Capelo y de sus quebradas, la presencia de coliformes fecales presenta valores altos, por lo que nos indica un alto nivel de contaminación bacteriana con organismos patógenos, convirtiendo al río Capelo y sus quebradas en cuerpos de agua que puede ocasionar enfermedades infecciosas a las personas que viven en las orillas.

Tabla 23. Datos generales de parámetros físicoquímicos.

Parámetro	Unidades	Valor promedio de las quebradas Capelo	Valor promedio de río Capelo
pH		7,60	7,54
Temperatura	°C	18,62	19,39
Oxígeno Disuelto	mg / L	1,30	4,01

Continuación **Tabla 23**. Datos generales de parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Unidades	Valor promedio de las quebradas Capelo	Valor promedio de río Capelo
Oxígeno Disuelto	% Saturación	15,14%	44,44%
DQO	mg / L	46,50	46,00
DBO ₅	mg / L	28,50	23,66
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	5,35x10 ³	1,96x10 ⁵

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

3.2.2 Calidad Ecológica del río Capelo

La calidad del agua encontrada en los 6 puntos de muestreo tiene relación con fuentes de contaminación regulares, estas descargas principalmente se las realizan de forma directa, en las zonas residenciales ubicadas a lo largo del cauce del río. Existen también descargas producto de la escorrentía superficial que contienen contaminantes principalmente de origen agrícola. Los elevados valores de DBO₅ que se obtuvieron en este estudio, así como los rangos altos de nutrientes encontrados, ayudan a ratificar esta información.

Establecer estratégicamente los puntos de muestreo, proporciona la información con respecto a la calidad ecológica y la necesaria para realizar estudios con resultados confiables. En el punto condiciones iniciales (P0) el valor del ICA-NSF, indica que se encuentra en un nivel Poco Contaminado, con respecto al índice BMWP-R y ABI, nos indica que el punto se encuentra *Muy Contaminado*, esta variación entre índices observado en la Tabla 19, nos ayuda a corroborar que tanto parámetros fisicoquímicos como biológicos deben ser considerados para una evaluación de calidad del agua.

Conforme a los índices bióticos BMWP-R y ABI calculados, se puede deducir que todos los puntos de muestreo analizados en este estudio, se encuentran en un estado muy crítico como se observa en la Tabla 24, respaldado con la presencia de familias muy tolerantes a la contaminación como son los Tubificidae.

El orden Oligochaeta es un gran indicador de alta concentración de contaminantes, ya que se ha demostrado que contiene gran capacidad para soportar condiciones

extremas de contaminación. En concordancia con la familia Chironomidae se establece que, mediante su mecanismo de recolonización frente a condiciones adversas, han posibilitado que se los encuentre en todo tipo de hábitats acuáticos (Roldan, 2003).

Tabla 24. Evaluación Ecológica del río Capelo

Puntos de muestreo	ICA-NSF	BMWP-R	ABI
P0	Poco Contaminado (60,99)	Muy Crítica (5)	Muy Crítica (8)
P1	Contaminado (37,46)	Muy Crítica (14)	Muy Crítica (14)
P2	Contaminado (33,27)	Muy Crítica (1)	Muy Crítica (1)
P3	Contaminado (33,21)	Muy Crítica (8)	Muy Crítica (5)
P4	Contaminado (41,74)	Muy Crítica (3)	Muy Crítica (3)
P5	Contaminado (48,24)	Muy Crítica (3)	Muy Crítica (3)

Elaborado por: Calo A., Guerrero F.

En el Anexo 10 se detalla el mapa de variación de la calidad del agua del BMWP-R.

3.3 Sociabilización

La sociabilización del trabajo se realizó en el GADMUR en el departamento de agua potable, alcantarillado y comercialización de Rumiñahui (DAPAC-R), donde se presentó un informe el cual contenía lo siguiente:

- Introducción
- Objetivos
- Base Teórica

- Metodología
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones y Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas y
- Anexos.

Además, se realizó una presentación a la encargada de la revisión de este trabajo Ing. Sofía Cuaical (analista de agua), la cual mostro su conformidad con el trabajo realizado. El respaldo de la sociabilización de este trabajo está en el Anexo 11.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Actualmente, la contaminación del río Capelo, nos permite evidenciar que su composición fisicoquímica y bacteriológica, es resultado de las actividades que se desarrollan en la zona. Las zonas residencial, industrial y agrícola, por donde pasa el río Capelo se encuentran gravemente contaminadas.

Los valores obtenidos de temperatura en el presente estudio se consideran altos, este aumento de temperatura a lo largo del río Capelo y de sus quebradas es provocado por las descargas de aguas residuales en el cuerpo de agua.

En el parámetro de turbidez de acuerdo con los resultados se concluye que existe una gran cantidad de partículas a lo largo del río, y esto ocasiona un impacto en el aspecto visual, como también ayuda a la adhesión de diferentes metales pesados, pesticidas y restringe los procesos fotosintéticos en el río.

Con respecto a los resultados de sólidos totales en el presente estudio se determinó que se encuentran con valores altos, esto se debe a su composición ya que contiene sólidos disueltos y suspendidos. Por esta razón en este trabajo se concluye que existe un mayor valor de sólidos disueltos con respecto a los sólidos suspendidos, esto a su vez ocasionando problemas de color, olor, sabor y afecciones a la salud.

La cantidad de oxígeno disuelto en estos cuerpos de agua de acuerdo con los valores obtenidos en el presente estudio, indica que el río Capelo y sus quebradas no se encuentran en condiciones para que se desarrolle vida acuática.

La DBO₅ y la DQO reportaron valores muy altos para la conservación de vida acuática y silvestre en agua dulce, esto es debido a la presencia de descargas de aguas residuales sin previo tratamiento, ya que contienen una gran carga contaminante, y esto ocasiona que no exista una autodepuración del río.

El resultado de coliformes fecales presente en este estudio, nos indica que el río Capelo y sus quebradas se encuentran con un alto nivel de contaminación, lo cual nos

indica que el río y las quebradas no pueden ser utilizadas para ninguna actividad ya que sobrepasa los criterios de calidad de las normas de calidad de agua.

El índice de calidad del agua (ICA-NSF) indica que el río Capelo se encuentra en condiciones de elevada contaminación, ya que se evidencia que los valores obtenidos en todos los puntos a lo largo del río Capelo (P1-P2-P3-P4 Y P5), se encuentran dentro de una categoría *Mala*, con excepto del punto condiciones iniciales (P0) el cual se encuentra Poco Contaminado. Con esta referencia se concluye que el río Capelo necesita un programa de recuperación de su calidad.

La vida acuática del río Capelo se encuentra condicionada a organismos acuáticos que tengan una gran resistencia a la contaminación. Se identificaron que existen 5 órdenes y 6 familias identificadas, a lo largo de río Capelo. La familia Chironomidae es la que tiene una mayor aportación a lo largo del río, donde la abundancia relativa de este tiene un valor de 99,40%, lo cual indica que el río Capelo presenta una contaminación *Muy Crítica*.

Basándonos en los resultados de los índices BMWP-R y ABI, se concluye que el río Capelo se encuentra gravemente contaminado en todos los puntos de análisis, ya que los valores obtenidos se ubican en la categoría *Muy Crítica*, con lo que se concluye que el río debe ser intervenido y recuperado desde sus quebradas aportantes.

Con los resultados obtenidos en el P0 (condiciones iniciales), se registra que este posee la mayor abundancia de individuos pero no posee un gran número de taxones a comparación de los demás puntos, esto se debe a que existe inicio de desarrollo urbano en la zona y deforestación.

4.2 Recomendaciones

Establecer un plan de educación ambiental y gestión de residuos sólidos, para capacitar a los ciudadanos que se encuentren cercanos o en la ribera del río Capelo, con el propósito de disminuir y evitar que se siga arrojando escombros y basura ya que esto ayudara a disminuir la carga contaminante.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que se necesita de manera urgente que las autoridades competentes, regulen el nivel de descargas que existe hacia el río, ya que en las zonas más pobladas existe mayor contaminación por descargas directas.

Se debe implementar un programa de monitoreo de la calidad del agua para evaluar si con el pasar del tiempo las condiciones del río Capelo van mejorando o empeorando, y tomar acciones que ayuden a rehabilitar las zonas con mayor impacto.

Con los resultados que se obtuvo en este proyecto se puede realizar una ficha de información la cual ayudará a tener un mejor panorama del estado de los ríos aledaños a este, y así poder realizar un protocolo para la conservación o restauración de los cuerpos hídricos en el sitio estudiado.

Para tener un mejoramiento en los cuerpos hídricos se debería desarrollar de manera conjunta con las instituciones públicas del sector, un análisis más recurrente de los índices de calidad biológica, lo que ayudará a tener una mayor perspectiva de la diversidad de macroinvertebrados y por lo tanto tener un conocimiento más específico de acuerdo al ecosistema de esta zona.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*.
- Acosta, R., Rios, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2008). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. Recuperado el 27 de 11 de 2018, de [http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028\(1\)%2004%20Acosta.pdf](http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028(1)%2004%20Acosta.pdf)
- Alberro, N. (2009). *El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos*. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/322/1/T-SENECYT-0092.pdf>
- Alvarez, L. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Bogotá.
- Aznar, A. (2000). *Determinación de los parámetros físico-químicos de la calidad de las aguas*. Obtenido de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Barrenechea, A. (2004). *Aspecto Físicoquímicos de la Calidad del Agua*. Recuperado el 15 de 02 de 2019, de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Bollmann, H. A., Carneiro, C., & Pergorini, E. (2005). *Qualidade da Água e Dinâmica de Nutrientes*. Curitiba: Gráfica Capital, LTDA,.
- Bonsai Menorca. (2016). *Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego*. Recuperado el 16 de 02 de 2019, de <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>
- Bustamante, C. (2008). EFECTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA CONTRUCCION Y OPERACIÓN DE UN EMBALSE.
- Carpenter, S., Chair, Caraco, N., Correll, D., Howarth, R., Smith, V., y otros. (1998). *Tópicos en Ecología 3*.
- Cortés, M. (2003). *Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación de la Franja Litoral de Bahía de Banderas*. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2003/bio032i.pdf>

- Digesa. (s.f.). *Parámetros Organolépticos*. Recuperado el 16 de Julio de 2019, de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- Encalada, A. (2010). *Polémika*. Obtenido de Funciones eco sistematicas y diversidad de los ríos: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370/489>
- Estevez, F. (2011). *Fundamentos de limnología*. Río de Janeiro: Interciência.
- FAO. (2014). *Estimaciones del Caudal del Agua*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm
- Franco, D. (2011). MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA TÉRMICA DE UN EMBALSE RAMIFICADO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS PROCESOS FÍSICOS GOBERNANTES. APLICACIÓN AL EMBALSE MULTIPROPOSITO RIOGRANDE II. 6-9.
- GADMUR, G. A. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui 2012-2025*. Recuperado el 27 de 11 de 2018, de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1760003920001_DOCUMENTO%20DIGANOSTICO_10-03-2015_19-55-43.pdf
- García, M. S. (2001). *El agua en el medio ambiente en Colombia*. Bogotá.
- Gomez, A., Naranjo, D., Martinez, A., & Gallego, D. (2007). *calidad del agua en la parte alta de las cuencas calidad del agua en la parte alta de las cuencas juan cojo y salado (giradota-antoquia,colombia)*. Recuperado el 27 de 11 de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v60n1/a08v60n1.pdf>
- Günter, G. (2000). Limnology of an Equatorial High Mountain Lake in Ecuador. 113-120.
- Hellawell, J. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental managenment*. England.
- Huertas, R., Marcos, C., Ibarguen, N., & Ordás, S. (2013). *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*.

- Jaramillo, M. I. (2007). *Informe preliminar Limnológico embalse Salve Faccha. EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO*. Quito.
- Löffler, H. (1964). *The limnology of tropical high mountain lakes*. - *Verth. int. Verein. theor- angew. Limnol.*, 15: 176-193.
- MAE. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A Anexos TULSMA R:O - 387.
- Marquez, G. (1996). *Embalses en Colombia: Ecología. Impacto Ambiental, Biodiversidad*. Santafé de Bogotá.
- Ministerio del Ambiente, M. (13 de febrero de 2015). *Acuerdo Ministerial N° 028*. Recuperado el 04 de 12 de 2018, de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155123.pdf>
- Mosquera, H. (Abril de 2018). *Evaluación de la distribución de macroinvertebrados bentónicos en un río altoandino*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19386/1/CD-8771.pdf>
- OMS. (2003). *Guías para la calidad de agua potable*. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
- Peña, E. (2007). *Calidad de Agua*. Obtenido de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Rios-Touma, B. A. (2014). *The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/15791/15137>
- Roldan, G. (2003). *Bioindicacio de la calidad del agua en Colombia*. Universidad de Antioquia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Bogotá: Universidad de Antioquia.
- Romero, I., & Zuñiga, T. (Noviembre de 2017). *Evaluación de la calidad ecologica del rio Ushimana utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores*

de calidad del agua. Recuperado el 16 de 11 de 2018, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18959/1/CD-8356.pdf>

Salas, J. P. (2016). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. España.

Serafim Junior, M. (2002). *Unidad 2: Calidad del Agua en Embalses*. Cruz das Almas.

SNET. (2010). *Índice de Calidad del Agua*. Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>

Soria, I. (Octubre de 2016). *Evaluación de la calidad ecológica del río Jatunhuayco en la zona asociada a la captación Jatunhuayco (EPMAPS) utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16736/1/CD-7332.pdf>

TULSMA. (Libro VI Anexo 1). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes*. Recuperado el 27 de 11 de 2018, de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

Vázquez G, C. G. (2006). *Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua*. Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-como-herramientas-para-determinar-la-calidad-del-agua.pdf>

Villa, M. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambi*. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/322/1/T-SENESCYT-0092.pdf>

ANEXOS

Anexo N° 1

**Puntajes de las familias de macroinvertebrados para el
Índice BMWP-R y ABI**

Anexo 1.1 Calificación de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el
ÍNDICE BMWP-R.

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelphusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolicopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae, Haplotaxidae	1

Fuente: (Roldan, 2003)

Anexo 1.2 Calificación del Índice ABI para familia de macroinvertebrados acuáticos de los Andes Tropicales distribuidos desde los 2000 m.s.n.m.

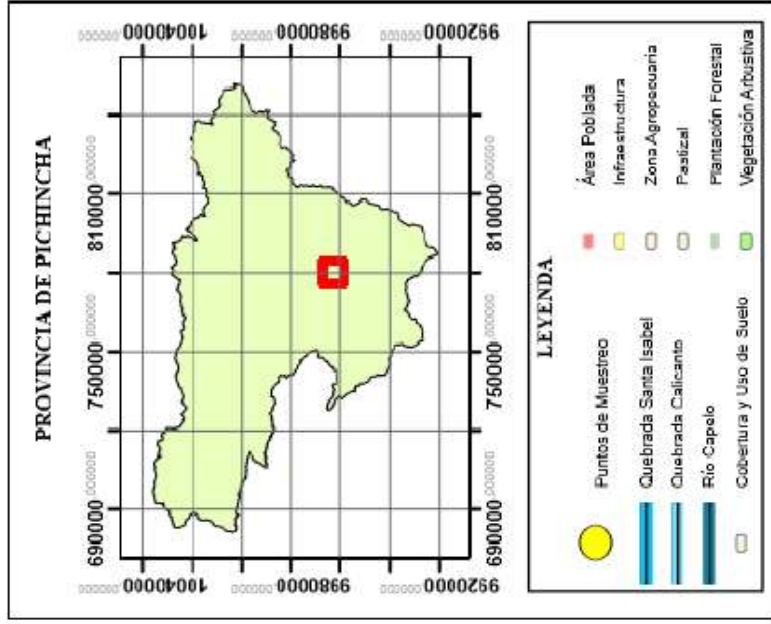
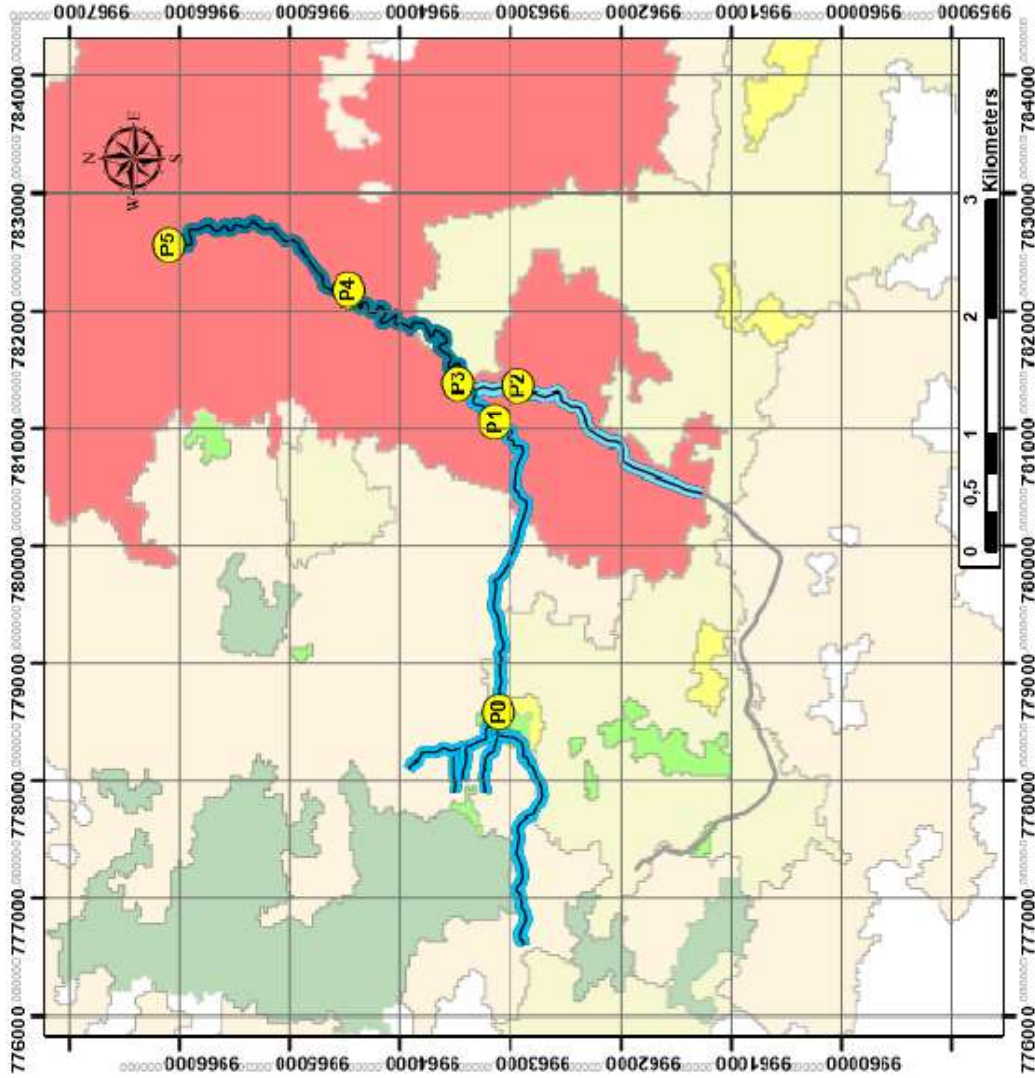
Grupos taxonómicos		Puntajes	Grupos taxonómicos	Puntajes	
Turbellaria		5	Coleóptera	Ptildactylidae	5
Hirudinea		3		Lampyridae	5
Oligochaeta		1		Psephenidae	5
Gasterópoda	Ancylidae	6		Scirtidae (Helodidae)	5
	Physidae	3		Staphylinidae	3
	Hydrobiidae	3		Elmidae	5
	Limnaeidae	3		Dryopidae	5
	Planorbidae	3		Gyrinidae	3
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Dytiscidae	3
Amphipoda	Hyaellidae	6		Hydrophilidae	3
Ostracoda		3	Hydraenidae	5	
Hydracarina		4	Diptera	Blepharoceridae	10
Ephemeroptera	Baetidae	4		Simuliidae	5
	Leptophlebiae	10		Tabanidae	4
	Leptohyphiae	7		Tipulidae	5
	Oligoneuridae	10		Limoniidae	4
Odonata	Aeshnidae	6		Ceratopogonidae	4
	Gomphidae	8		Dixidae	4
	Libellulidae	6		Psychodidae	3

Continuación **Anexo 1.2** Calificación del Índice ABI para familia de macroinvertebrados acuáticos de los Andes Tropicales distribuidos desde los 2000 m.s.n.m.

Grupos Taxonómicos		Puntaje	Grupos Taxonómicos	Puntaje	
Odonata	Coenagrionidae	6	Diptera	Dolichopodidae	4
	Calopterygidae	8		Stratiomyidae	4
	Polythoridae	10		Empididae	4
Trichoptera	Helicopsychidae	10		Chironomidae	2
	Calamoceratidae	10		Culicidae	2
	Odontoceridae	10		Muscidae	2
	Leptoceridae	8		Ephydriidae	2
	Polycentropodidae	8		Athericidae	10
	Hydroptilidae	6		Syrphidae	1
	Xiphocentronidae	8		Plecóptera	Perlidae
	Hydrobiosidae	8	Gripopterygidae		10
	Glossosomatidae	7	Heteróptera	Velidae	5
	Hydropsychidae	5		Gerridae	5
	Anomalopsychidae	10		Corixidae	5
Philopotamidae	8	Notonectidae		5	
Limnephilidae	7	Belostomatidae		4	
Lepidoptera	Pyralidae	4		Naucoridae	5

Fuente: (Rios-Touma, 2014)

Anexo N°2
Cobertura y Uso de Suelo



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL TECNOLOGÍA AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL			
Contiene: Cobertura y Uso de suelo			
SISTEMA DE GEOREFERENCIA: COORDENADAS: GEOGRÁFICAS ZONA: 17 BANDAS M DATUM: WGS'84	NOMBRE ARCHIVO: Mapa INT	MAPA N°: TEC- 01	FECHA: 16/07/2019
ESCALAS: INFORMACIÓN BASE 1 : 60.000	IMPRESIÓN: 1 : 60.000	FUENTE: IGM, SNI	ELABORÓ Y REPROBÓ: Cayo A. Guerrero F. Ing. Hamilton Mosquera

Anexo N° 3
Principales fuentes de contaminación antropogénica del río
Capelo



Fotografía 1. Descarga al cauce del río de forma directa



Fotografía 2. Acumulación de basura en la ribera



Fotografía 3. Acumulación de basura en el cauce

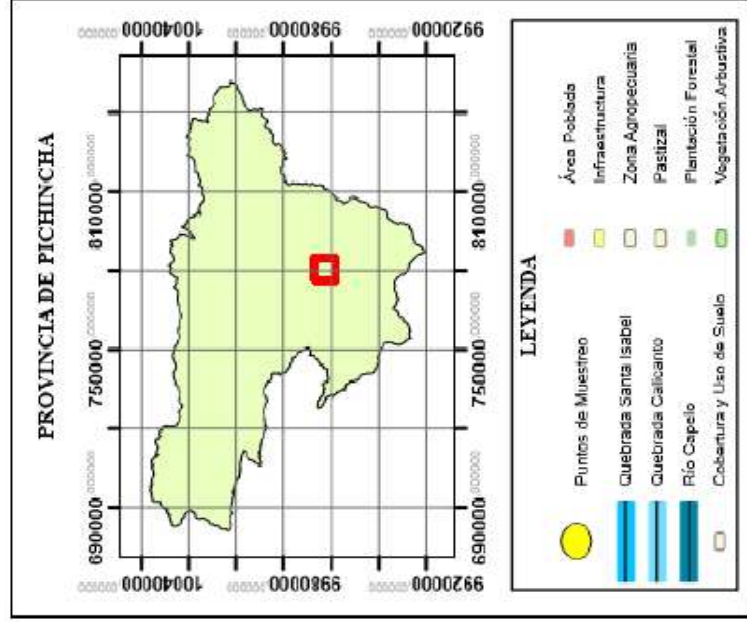
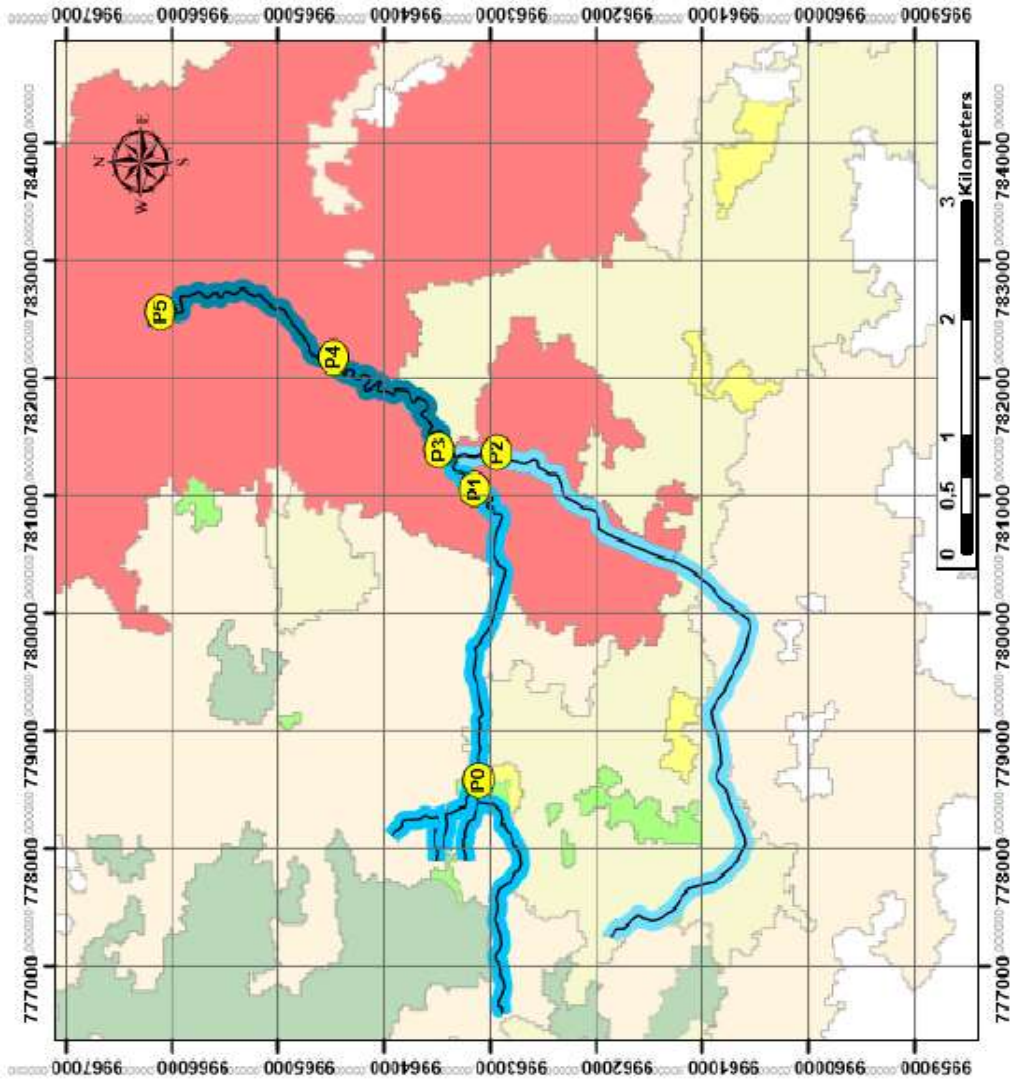


Fotografía 4. Vegetación



Fotografía 5. Rocas con presencia de hidrocarburos

Anexo N° 4
Mapas de los puntos de Muestreo



LEYENDA

	Puntos de Muestreo		Área Poblada
	Quebrada Santa Isabel		Infraestructura
	Quebrada Calicanto		Zona Agropecuaria
	Río Capelo		Pastizal
	Cobertura y Uso de Suelo		Plantación Forestal
			Vegetación Arbustiva

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TECNOLOGÍA AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Contiene: Puntos de Muestreo

SISTEMA DE GEORREFERENCIA:	NOMBRE:	MAPA N°:	FECHA:
COORDENADAS: GEOGRÁFICAS	ARCHIVO:	TEC- 02	10/07/2018
ZONA: 17 BANDA: W DATUM: WGS84	MAPA N°2		
ESCALA:	IMPRESIÓN:	FUENTE:	ELABORÓ Y APROBÓ:
1 : 60.000	1 : 60.000	IGM, SNI	Capo A. Guerrero E. Ing. Hamilton Mosquera

Anexo N°5
Hoja de Campo

 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</p>	Hoja de Campo		
Fecha:	Hora:	N° Punto:	Muestreador:
Coordenadas:	X	Y	Localización:
Parámetros Físicoquímicos			
Parámetros	Unidades	Valores	Observaciones:
Temperatura	°C		
pH	-		
Turbidez	NTU		
Conductividad	µs/cm		
OD	mg/L		
ODS	%		
Parámetros Hidráulicos			
Parámetros	Unidades	Valores	Observaciones:
Tiempo	seg		
Calado	cm		
Ancho	m		
Largo	m		
Macroinvertebrados			
Parámetros	Valores		Observaciones:
Tipo de Sustratos:			
Cantidad de muestras recolectadas:			

Anexo N° 6
Protocolo para la recolección de macroinvertebrados

1. Planificación del muestreo

- a) Efectuar una visita previa al sitio donde se efectuará el proyecto, ya que con esto se determina si existen rutas de acceso, transporte y permisos de ingreso. Es recomendable definir el recorrido del muestreo ya que con esto optimizaremos el tiempo y los recursos que se utilizarán el día del muestreo.
- b) Preparar una hoja de campo, que nos ayude a reunir la información necesaria de los sitios de muestreo, de una forma sencilla, rápida y eficiente.
- c) Revisar los permisos ambientales de recolección y de movilización de fauna, que se encuentren correctamente al día conforme el reglamento del Ministerio de Ambiente del Ecuador.

2. Preparación de materiales

Para el muestreo de macroinvertebrados, implica la utilización de diferentes materiales, lo recomendable es preparar con antelación al día que se realizara el muestreo. Así como también es recomendable realizar una lista de chequeo, para verificar la disponibilidad de cada material antes de la salida de campo.

- Alcohol Etilico al 95%
- Botas de Caucho
- Cooler
- Cámara
- Etiquetas
- Fundas Ziploc
- Guantes
- Piseta
- Red Surber

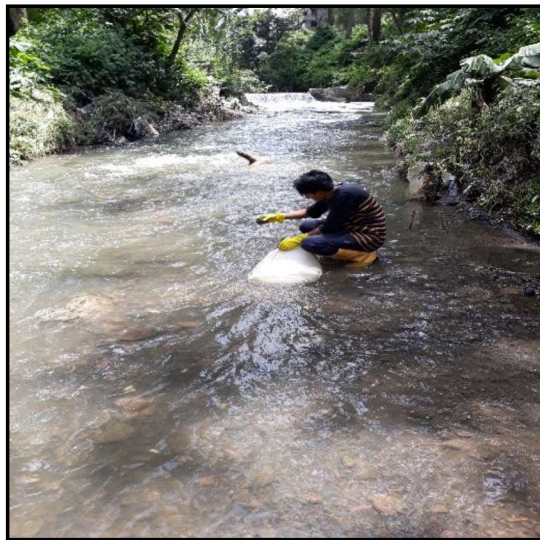
3. Indicaciones generales antes del muestreo

- a) Iniciar el muestreo desde aguas abajo hacia aguas arriba, con la finalidad de que no se levante sedimentos, ocasionando turbiedad en el agua que aún no ha sido muestreada.

- b) Reconocer los diferentes hábitats que sean posibles, donde se puedan alojar macroinvertebrados en el punto y en el tramo de muestreo seleccionado previamente, estos pueden ser: Sustratos (rocas, arenas y grava), raíces de árboles sumergidos y sustratos artificiales (restos de fundas plásticas).

4. Indicaciones durante el muestreo

- a) Colocar la red Surber de forma paralela a la corriente, en un sustrato que se encuentre uniforme, sujetar el marco que se encuentra sumergido para mantenerlo fijo.
- b) En el marco que se encuentra sumergido recoger absolutamente todos los componentes que puedan incluir macroinvertebrados, tales como hojarasca, restos de troncos y piedras. Lavarlos cuidadosamente para evitar deterioro en su estructura, para que los macroinvertebrados entren en la red y puedan ser capturados.
- c) Levantar la red Surber y trasladar a la orilla para recolectar el material obtenido, depositar el material en una funda Ziploc con alcohol al 95% y lavar poco a poco la red con alcohol para desprender los organismos que se hayan adherido en la manga.



Fotografía 6. Recolección de macroinvertebrados



Fotografía 7. Macroinvertebrados

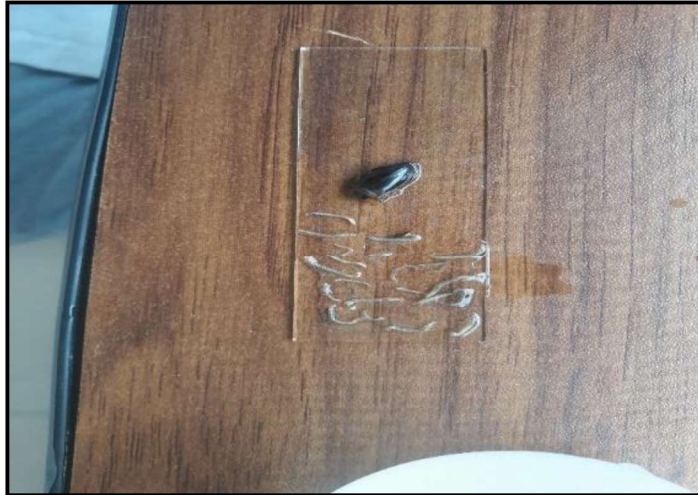
- d) Volver a realizar nueve veces el proceso de la a-c, para poder completar el metro cuadrado de muestra por cada sitio, esto debido a que el marco de la red Surber aproximadamente mide 33 cm * 33 cm (Mosquera, 2018).

5. Indicaciones después del muestreo

- a) Guardar en el Cooler las muestras recolectadas, por precaución evitar colocarlas una encima de otra, ya que puede ocasionar aberturas y pérdidas en las muestras.
- b) Realizar el lavado de la red Surber para dejarla secar un tiempo apropiado antes de guardarla.
- c) Registrar en el sitio muestreado diferentes fotografías antes, durante y después del muestreo.
- d) Identificar y separar las muestras recolectadas en el laboratorio.









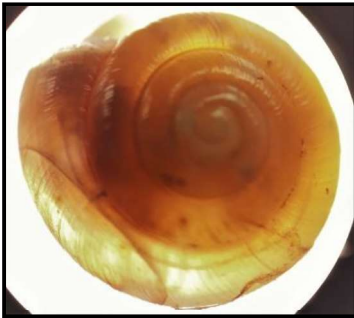
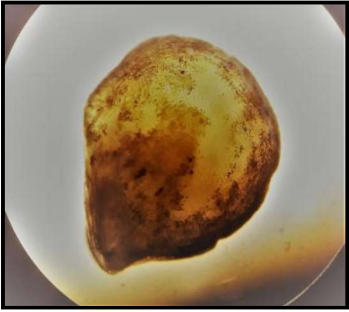
Fotografía 8. Separación de macroinvertebrados



Fotografía 9. Identificación de macroinvertebrados

Anexo N° 7
Macroinvertebrados encontrados en el río Capelo

<p>a)</p>  <p>b)</p> 	<p>a) Pupa de Chironomidae b) Chironomidae (Chironomidae)</p>
	<p>Chironomidae (Orthoclaaiinae)</p>
	<p>Hydrophilidae (Hydrophilus)</p>

	<p>Haplotaxidae</p>
	<p>Tubificidae</p>
	<p>Planorbiidae</p>
	<p>Sphaeriidae</p>

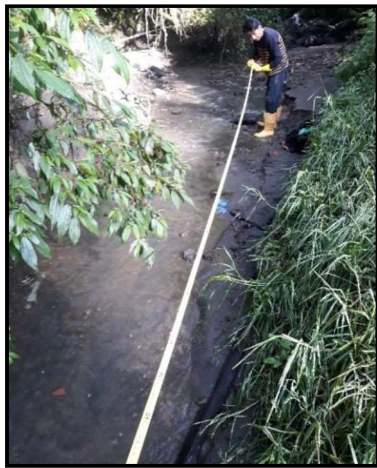
Anexo N° 8
Registro fotográfico del muestreo



Fotografía 10. Medición con el Multiparámetro



Fotografía 11. Recolección de muestra para coliformes



Fotografía 12. Medición de parámetros hidráulicos



Fotografía 13. Recolección de macroinvertebrados

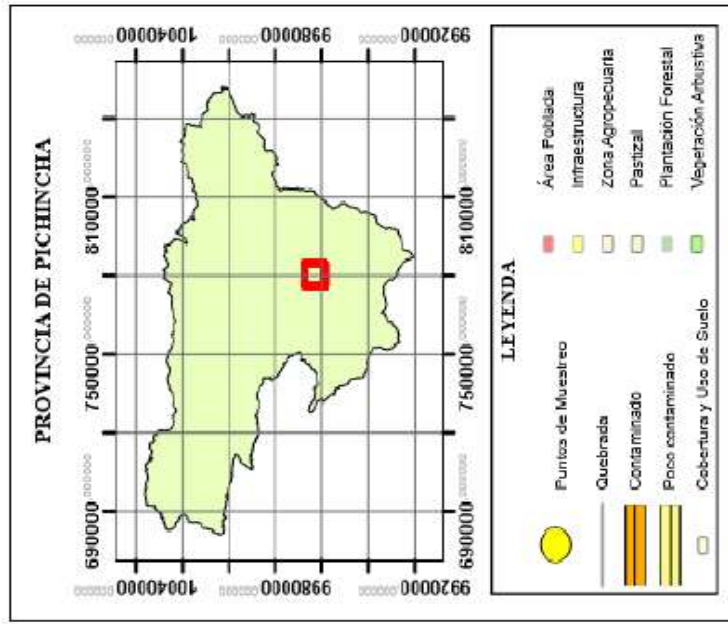
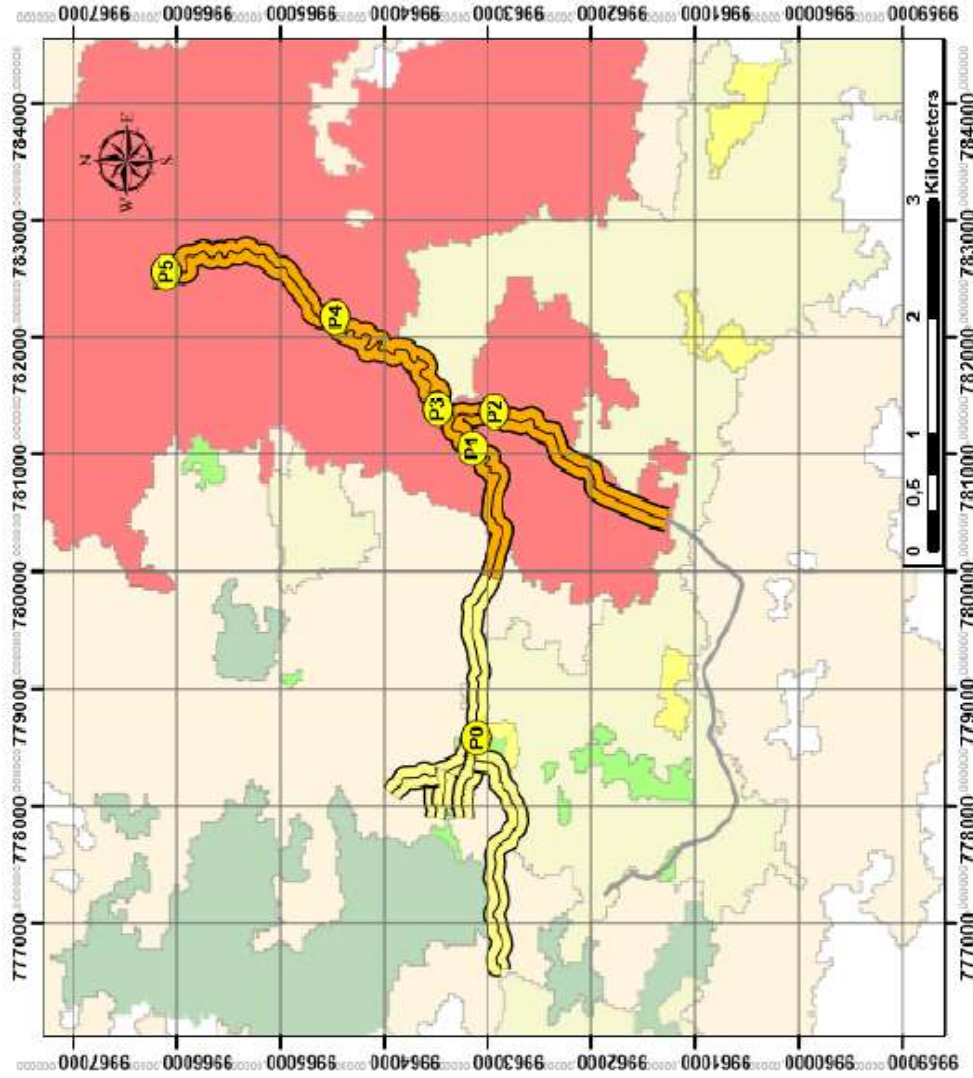


Fotografía 14. Medición con el Conductímetro



Fotografía 15. Recolección de muestra para laboratorio

Anexo N° 9
Mapa de Variación de la Calidad del Agua ICA



LEYENDA

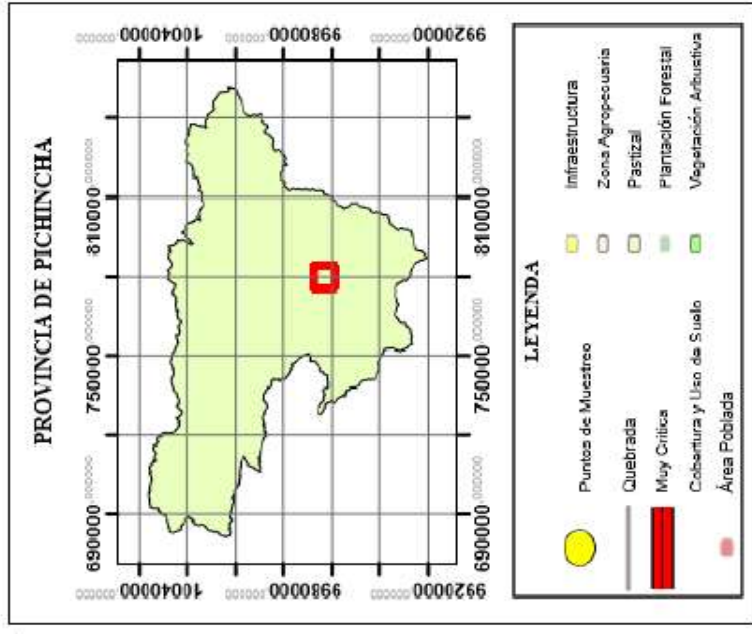
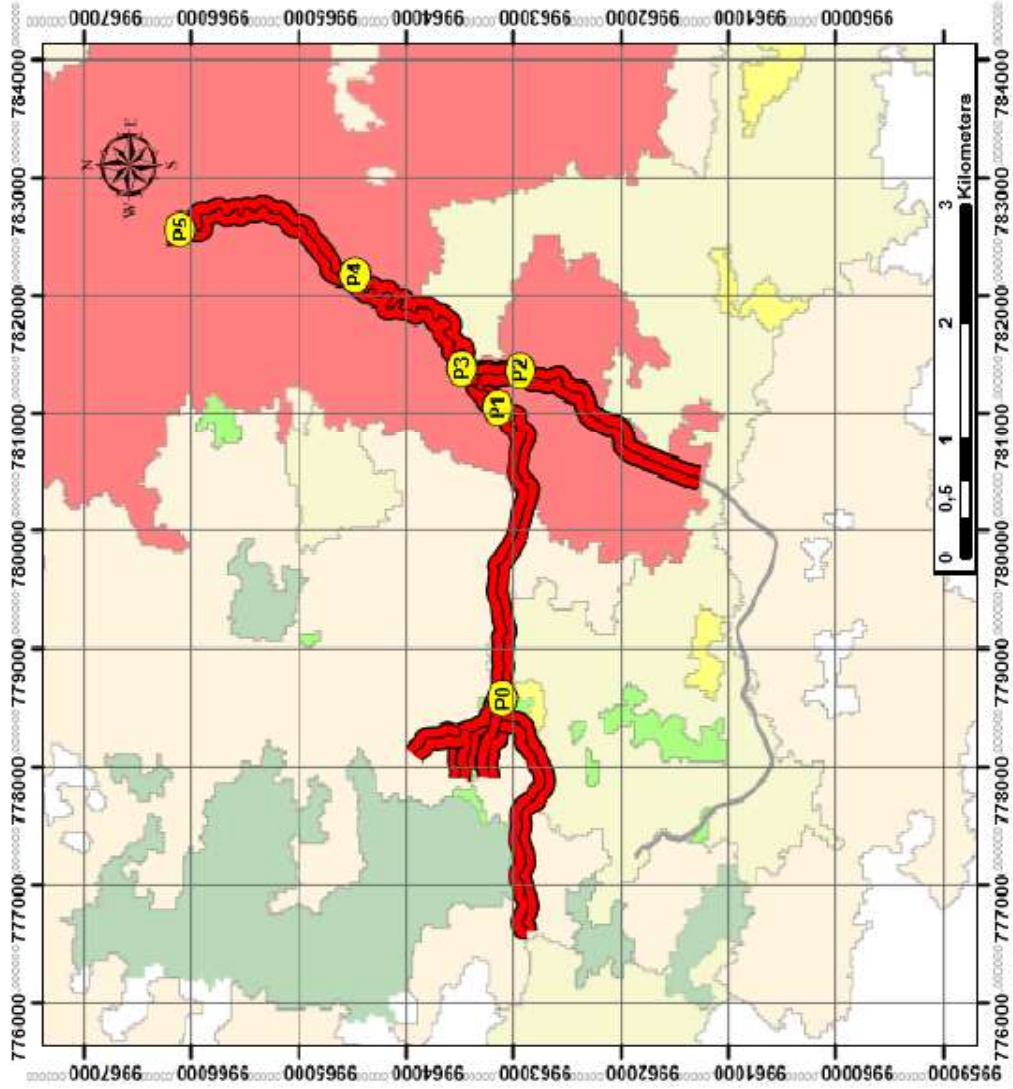
	Punto de Muestreo		Área Poblada
	Quebrada		Infraestructura
	Contaminado		Zona Agropecuaria
	Poco contaminado		Pastizal
	Cobertura y Uso de Suelo		Plantación Forestal
			Vegetación Arbustiva

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
TECNOLOGÍA AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Contiene: Índice de la Calidad del Agua (ICA)

SISTEMA DE REFERENCIA: COORDENADA GEOGRÁFICA ZONA 17 - BANDELA: IM	NOMBRE ARCHIVO: Mapa N°3	MAPA N°: TEC-03	FECHA: 10/07/2018
ESCALA: INFORMACIÓN BASE	IMPRESIÓN: 1 : 60.000	FUENTE: IGM, SNI	ELABORO Y REVISÓ: Celo A., Guerrero F./ Ing. Hamilton Mosquera

Anexo N° 10
Mapa de variación de la Calidad del Agua BMWP-R

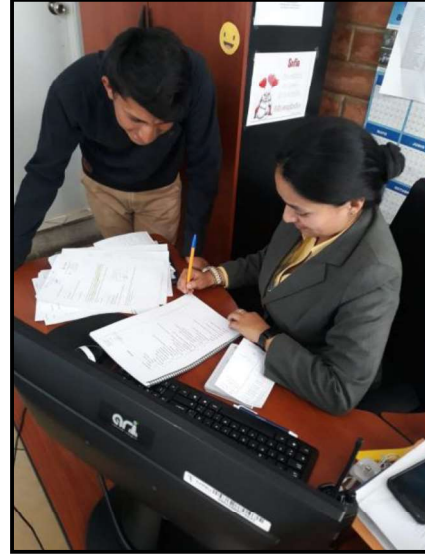


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL TECNOLOGIA AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL			
Contiene: Índice Biológico BMWF-R			
SISTEMA DE GEOREFERENCIA:	NOMBRE:	MAPA N°:	FECHA:
COORDENADAS: GEOGRAFICAS:	ARCHIVO:	TEC- 04	16/07/2018
ZONA-17 BANDAS: DATUM: WGS84	Mapa N°4		
ESCALA:	IMPRESIÓN:	FUENTE:	ELABORÓ Y REVISÓ:
FORMACIÓN: BASE	1 : 60.000	IGM, SNI	Calda, Guzmán E. Ing. Hamilton Mosquera

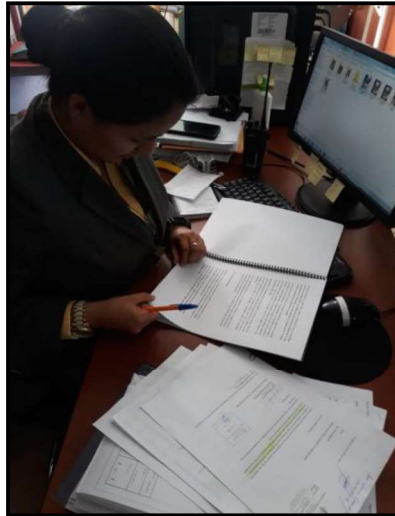
Anexo N° 11
Registros de fotográfico de la sociabilización



Fotografía 16. Entrega del informe al GADMUR



Fotografía 17. Sociabilización del informe a la encargada del análisis de agua del DAPAC-R.



Fotografía 18. Revisión del informe

CONTENIDO	
1	INTRODUCCIÓN
1.1	Objetivos
1.1.1	Objetivo General
1.1.2	Objetivos Específicos
2	BASE TEÓRICA
3	METODOLOGÍA
3.1	Información Base
3.2	Estado del río Capetío
3.3	Campaña de Muestreo
3.3.1	Toma de Muestras
3.4	Análisis en Laboratorio
3.5	Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF)
3.6	Macroinvertebrados
4	RESULTADOS
4.1	Análisis de resultados
4.2	Índice de la Calidad de Agua
4.3	Abundancia de Individuos, Riqueza y Composición Taxonómica de Macroinvertebrados
4.4	Índices Biológicos: BMWP-R, ABI, ASPT
5	DISCUSIÓN
5.1	Calidad Ecológica del río Capetío
5.1.2	Análisis General de Parámetros Fisicoquímicos
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
6.1	Conclusiones
6.2	Recomendaciones
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
ANEXO	
	Anexo Nº 1
	Principales fuentes de contaminación antropogénica
	Anexo Nº 2
	Mapas de los puntos de Muestreo
	Anexo Nº 3
	Registro fotográfico del muestreo
	Anexo Nº 4

Fotografía 19. Informe sellado y aceptado por el GADMUR.