



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

SEDE CUENCA.

**CARRERA DE INGENIERIA EN BIOTECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS
NATURALES.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención de Título de
Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales**

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA
DENSIDAD MICROBIANA EN DOS CUENCAS ANDINAS ALTAS DEL SUR DEL
ECUADOR**

AUTORA:

VALERIA FERNANDA ARÉVALO LATA.

TUTOR:

PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO Ph.D.

CUENCA – ECUADOR

2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.

Yo, Valeria Fernanda Arévalo Lata, con documento de identificación N° 0107458861, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de autor del trabajo de titulación: “CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA DENSIDAD MICROBIANA EN DOS CUENCAS ANDINAS ALTAS DEL SUR DEL ECUADOR”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de “Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales”, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancias suscribo este documento en formato digital e impreso a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Octubre del 2017.



Valeria Fernanda Arévalo Lata

0107458861

CERTIFICACIÓN.

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA DENSIDAD MICROBIANA EN DOS CUENCAS ANDINAS ALTAS DEL SUR DEL ECUADOR”, realizado por Valeria Fernanda Arévalo Lata, cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Octubre del 2017.



Pablo Wilson Arévalo Moscoso Ph.D.

0102156957

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Yo, Valeria Fernanda Arévalo Lata con número de cédula 0107458861 autora del trabajo de titulación “CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA DENSIDAD MICROBIANA EN DOS CUENCAS ANDINAS ALTAS DEL SUR DEL ECUADOR”, certifico que el total contenido de este trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Octubre del 2017.



Valeria Fernanda Arévalo Lata

0107458861

DEDICATORIA.

A mis abuelos Dolores y Miguel que siempre me han apoyado incondicionalmente y con sus enseñanzas me han ayudado a crecer como persona cada día.

A mis tíos Pablo, Jorge y Sonia que siempre están dispuestos a ayudarme cuando tengo dificultades, por su cariño, comprensión y paciencia en cada una de las etapas de mi vida.

A mis primos Sebastián y Jorge Luis que con sus ocurrencias, juegos, risas y travesuras han alegrado cada día de mi vida desde su nacimiento.

A Bibiana que más que mi amiga es como una hermana, siempre me ha estado animando en los momentos más difíciles y en todo momento me ha apoyado y me ha brindado su amistad y cariño.

Pero principalmente le dedico este trabajo a mi mami Dolores que es el pilar fundamental de mi vida, la persona que siempre ha estado a mi lado ayudándome y apoyándome, además de ser un verdadero ejemplo de perseverancia, valentía, bondad, respeto, pero sobretodo de amor; ya que sin ella yo no estaría logrando este objetivo tan importante en mi vida.

Finalmente, y no menos importante a Dios, que me ha brindado la suficiente fortaleza para salir adelante sobre todo en los momentos más difíciles, lo que me ha permitido llegar a este momento tan crucial en mi vida.

AGRADECIMIENTOS.

Le agradezco a Dios, por haberme dado fuerza y perseverancia para culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A mi madre por confiar plenamente en mí, por estar a mi lado todos los días corrigiendo mis errores y celebrando mis triunfos, además de brindarme su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, demostrándome todo su amor.

A mis tíos Pablo, Jorge y Sonia con los cuales he compartido momentos inolvidables, además ellos siempre me han dado la fortaleza para seguir adelante y no desmayar ante ninguna adversidad.

A mis abuelos que con sus sabios consejos me han orientado para ser una buena persona y a siempre luchar por mis sueños.

A Pablo Arévalo Ph.D. mi director de Tesis por toda la ayuda, la paciencia, conocimientos y críticas constructivas brindados durante la realización de la misma.

A Beberley C. Wemple Ph.D. por todo el apoyo brindado durante su corta estancia en el país, ya que su experiencia y conocimientos fueron de mucha ayuda para el desarrollo del presente trabajo.

A los docentes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, por brindar sus conocimientos, consejos y apoyo incondicional durante esta etapa académica.

A Diana y Johana mis estimadas amigas, con las cuales compartimos momentos inolvidables además de apoyarnos y compartir nuestros conocimientos mientras desarrollábamos nuestros trabajos de titulación.

Gracias a todas aquellas personas que han colaborado directa e indirectamente con la realización del presente proyecto.

RESUMEN.

El deterioro de la calidad del agua en los ríos del Ecuador se ha incrementado en los últimos años, debido a la contaminación originada por las actividades antropogénicas, así como aquellas de origen natural. En el presente estudio se evaluó la calidad microbiológica a través de la cuantificación espacial y temporal de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales presentes en las cuencas Dudas y Mazar ubicadas en la cuenca baja del río Paute, en la provincia del Cañar al sur del Ecuador, el monitoreo se realizó durante el periodo Marzo-Junio del 2017. Se seleccionaron once puntos de muestreo para el río Mazar y doce para el río Dudas, estos puntos comprendían un conjunto de arroyos cuyo tamaño varía de 14 a más de 11,000 ha, cubiertas por páramos, bosque nativo, pastos y tierras cultivadas; además a través del sistema de información geográfica (SIG), se obtuvieron mapas de la cobertura vegetal presente en estas dos cuencas.

Para la determinación de aerobios se emplearon las placas Petrifilm y se empleó la técnica del número más probable (NMP) para determinar los niveles del coliformes totales y coliformes fecales. Los ríos presentaron niveles de microorganismos (aerobios, coliformes totales y fecales) que exceden el límite máximo permisible de las normativas vigentes del país, principalmente en los puntos en los que en sus riberas se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas.

Se evaluó si existe una correlación entre los parámetros microbiológicos (aerobios, coliformes totales y fecales) y la cobertura vegetal presente en cada punto de muestreo, determinándose que con un coeficiente de correlación de Pearson de $r = 0.9999$ existe una relación entre coliformes totales y la cobertura vegetal presentes en el río Mazar.

Los niveles de sólidos totales suspendidos excedieron el límite máximo permisible de la normativa vigente y además se comprobó que no existe ninguna correlación entre los sólidos totales suspendidos y la densidad microbiana presente en los ríos objeto del estudio.

Contenido

CAPITULO I.....	15
1. INTRODUCCIÓN.	15
1.1 Antecedentes.	16
1.2 Planteamiento del problema.	19
1.3 Justificación.	20
1.4 Objetivos.	22
1.4.1 Objetivo General.	22
1.4.2 Objetivos Específicos.	22
1.5 Hipótesis.	22
CAPITULO II	23
2. MARCO TEÓRICO.	23
2.1 Estado del arte.	23
2.2 Calidad del Agua.	28
2.2.1 Descripción de los parámetros que definen la calidad del Agua.	28
2.2.1.1 Descripción de los Parámetros físicos.	29
2.2.1.2 Parámetros Químicos.	30
2.2.1.3 Parámetros Microbiológicos.	31
2.3 Índices de Calidad del Agua.	32
2.3.1 Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF).	33
2.3.2 Índices Biológicos.	35
2.3.3 Los macroinvertebrados como bioindicadores.	36
2.3.3.1 El método BMPW.	36
2.4 Contaminación del Agua.	38
2.4.1 Fuentes Naturales.	38
2.4.2 Fuentes Artificiales.	38
2.5 Efectos de la contaminación del agua en la salud.	40
2.5.1 Directos.	40
2.5.2 Indirectos.	40
2.6 Cuenca Hidrográfica.	41
2.6.1 División de una cuenca hidrográfica.	42
2.6.2 Partes de una cuenca hidrográfica.	43

2.7 Manejo integral de las cuencas hidrográficas.	43
2.8 Descripción general de la cuenca del río Paute.	44
2.8.1 Ubicación y Superficie.	44
2.8.2 Climatología.....	45
2.8.3 Temperatura.....	46
2.8.4 Humedad relativa.....	46
2.8.5 Importancia de la cuenca del río Paute.....	46
2.9 Subcuencas de los ríos Mazar y Dudas.	46
2.9.1 Subcuenca del río Mazar.....	48
2.9.1.1 Características Generales.....	48
2.9.1.2 Caracterización Vegetal.	48
2.9.1.3 Clima	48
2.9.1.4 Calidad del agua.....	49
2.9.1.5 Usos del suelo.....	49
2.9.2 Subcuenca del río Dudas.	49
2.9.2.1 Características Generales.....	49
2.9.2.2 Clima.	50
2.9.2.3 Uso de la tierra y cambio de cobertura de la tierra.	51
2.9.2.4 Calidad del agua.....	51
2.10 Marco legal del agua.....	52
2.11 Sistema de Información Geográfica.	53
2.12 Número Más Probable (NMP).....	53
2.13 Placas Petrifilm para recuento de aerobios.	54
CAPITULO III.....	55
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	55
3.1 Fase 1: Caracterización.	55
3.1.1 Levantamiento de información.	55
3.1.2 Obtención de los mapas de cobertura vegetal.	56
3.1.3 Selección de los puntos de muestreo.....	56
3.2 Fase 2: Laboratorio.....	57
3.2.1 Toma de muestras.....	57
3.2.2 Metodología para la determinación del pH.	59
3.2.3 Metodología para la determinación de aerobios	59

3.2.4 Metodología para la determinación de Coliformes totales y fecales	60
3.2.5 Metodología para la determinación de sólido totales suspendidos (STS).	63
3.3 Fase 3: Análisis.....	65
3.3.1 Variabilidad espacial y temporal.....	65
3.3.2 Diagramas de dispersión.	66
3.3.3 Coeficiente de correlación lineal de Pearson.	67
CAPITULO IV.....	68
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	68
4.1 Selección de los puntos de muestreo en las cuencas Dudas y Mazar.....	68
4.2 Obtención de los mapas de cobertura vegetal.	70
4.3 Resultados de la medición de la temperatura.....	73
4.4 Resultados de la medición del pH.....	75
4.5 Resultados de Sólidos Totales Suspendidos (STS) en los ríos Dudas y Mazar.	77
4.6 Determinación de los niveles de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales.	79
4.6.1 Determinación de aerobios.....	79
4.6.1.1 Variabilidad espacial y temporal de Aerobios.....	81
Subcuenca del río Dudas.	81
Subcuenca de río Mazar.....	82
4.6.2 Determinación de coliformes totales.....	82
4.6.2.1 Variabilidad espacial y temporal de coliformes totales.	85
Subcuenca del río Dudas.	85
Subcuenca del río Mazar.....	86
4.6.3 Determinación de coliformes fecales.	86
4.6.3.1 Variabilidad espacial y temporal de coliformes fecales.....	88
Subcuenca del río Dudas.	88
Subcuenca del río Mazar.....	89
4.7 Correlación entre la densidad microbiana y la cobertura vegetal del área de estudio.....	90
4.7.1 Correlación entre la cantidad de aerobios y el porcentaje de área cultivada en las cuencas de estudio.	90
Subcuenca del río Dudas.	90
Subcuenca del río Mazar.....	91
4.7.2 Correlación entre la cantidad de coliformes totales y el porcentaje de área cultivada en las cuencas de estudio.	92
Subcuenca del río Dudas.	92

Subcuenca del río Mazar.....	93
4.7.3 Correlación entre la cantidad de coliformes fecales y el porcentaje de área cultivada en las cuencas de estudio.	94
Subcuenca del río Dudas.	94
Subcuenca del río Mazar.....	95
4.8 Comparación de la concentración de solidos totales suspendidos (STS) y la densidad microbiana presente en las cuencas Dudas y Mazar.....	96
4.8.1 Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de aerobios presentes en las cuencas de estudio.	96
Subcuenca del río Dudas.	96
Subcuenca del río Mazar.....	97
4.8.2 Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes totales presentes en las cuencas de estudio.	98
Subcuenca del río Dudas.	98
Subcuenca del río Mazar.....	99
4.8.3 Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes fecales presentes en las cuencas de estudio.	100
Subcuenca del río Dudas.	100
Subcuenca del río Mazar.....	101
CAPITULO V.....	103
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS.....	106
ANEXOS.....	119

Índice de tablas.

Tabla 1. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF.	35
Tabla 2. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP valores ajustados para Colombia.	37
Tabla 3. Clasificación de las aguas, significado ecológico de acuerdo al índice BMWP.	38
Tabla 4. Tipo de industria y los residuos que generan.	39
Tabla 5. Enfermedades por patógenos contaminantes del agua.	41
Tabla 6. Parámetros Hidrológicos Generales de las Cuencas Dudas y Mazar.	50
Tabla 7. Uso de la Tierra y Cubierta Vegetal de la subcuenca del río Dudas.	51
Tabla 8. Materiales, reactivos y equipos para determinación de Aerobios.	60
Tabla 9. Materiales, reactivos y equipos para la determinación de Coliformes totales y fecales.	61
Tabla 10. Materiales, reactivos y equipos para determinación de sólidos totales suspendidos.	63
Tabla 11. Coordenadas de los puntos de muestreo del río Dudas.	68
Tabla 12. Coordenadas de los puntos de muestreo del río Mazar.	69
Tabla 13. Resultados de la temperatura en las cuencas Dudas (D) y Mazar (M).	74
Tabla 14. Resultados de la medición del pH en las cuencas Dudas (D) y Mazar (M).	76
Tabla 15. Resultados de los STS en las cuencas Dudas (D) y Mazar (M).	78
Tabla 16. Cantidad de aerobios en las cuencas Dudas y Mazar.	80
Tabla 17. Coliformes totales presentes en la cuenca del río Dudas.	83
Tabla 18. Coliformes totales presentes en la cuenca del río Mazar.	84
Tabla 19. Coliformes fecales presentes en la cuenca del río Dudas.	87
Tabla 20. Coliformes fecales presentes en la cuenca del río Mazar.	87

Índice de figuras.

Figura 1. Fórmula para calcular el ICA-NSF.....	34
Figura 2. Mapa de ubicación de la cuenca del río Paute en el Ecuador.	45
Figura 3. Mapa de las subcuencas de los ríos Mazar y Dudas.	47
Figura 4. pH-metro.....	59
Figura 5. Estufa marca Memmert.	60
Figura 6. Contador de colonias Boeco.	60
Figura 7. Autoclave - Phoenix Lufenco.....	61
Figura 8. Hornilla eléctrica doble - Proctor Silex.	61
Figura 9. Bomba de vacío Millipore.	63
Figura 10. Equipo de Filtración.	63
Figura 11. Ubicación de los puntos de muestreo del río Dudas y la cobertura vegetal que los afecta.....	71
Figura 12. Ubicación de los puntos de muestreo del río Mazar y la cobertura vegetal que los afecta.....	72
Figura 13. Variación temporal y espacial de Aerobios en el río Dudas.....	81
Figura 14. Variación temporal y espacial de Aerobios en el río Mazar.....	82
Figura 15. Variación temporal y espacial de coliformes totales en el río Dudas.....	85
Figura 16. Variación temporal y espacial de coliformes totales en el río Mazar.....	86
Figura 17. Variación temporal y espacial de coliformes fecales en el río Dudas.....	89
Figura 18. Variación temporal y espacial de coliformes fecales en el río Mazar.....	90
Figura 19. Correlación entre la cantidad de aerobios y el porcentaje de área cultivada en el río Dudas. ...	91
Figura 20. Correlación entre la cantidad de aerobios y el porcentaje de área cultivada en el río Mazar. ...	92
Figura 21. Correlación entre la cantidad coliformes totales y el porcentaje de área cultivada en el río Dudas.	93
Figura 22. Correlación entre la cantidad coliformes totales y el porcentaje de área cultivada en el río Mazar.	94
Figura 23. Correlación entre la cantidad coliformes fecales y el porcentaje de área cultivada en el río Dudas.	95
Figura 24. Correlación entre la cantidad coliformes fecales y el porcentaje de área cultivada en el río Mazar.	96
Figura 25. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de aerobios presentes en el río Dudas.	97
Figura 26. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de aerobios presentes en el río Mazar.	98
Figura 27. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes totales presentes en el río Dudas.....	99
Figura 28. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes totales presentes en el río Mazar.....	100
Figura 29. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes fecales presentes en el río Dudas.....	101
Figura 30. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes fecales presentes en el río Mazar.....	102

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN.

El agua es el elemento natural de mayor incidencia en la vida económica y social de un país, la disponibilidad o déficit de esta, influye en el desarrollo de las actividades de la población, así como su supervivencia. Además, se la considera como uno de los elementos centrales en el manejo de una cuenca, ya que a través de ella se puede evaluar el efecto producido por las actividades que se desarrollan en la misma, provocando modificaciones en sus características químicas, físicas y biológicas, que influyen directamente en su calidad (Gil Marín et al., 2013).

En cada parte del planeta se habla de la calidad y disponibilidad de las aguas superficiales, a pesar de que ocupa las tres cuartas partes de la superficie del planeta, este elemento ha disminuido intensamente, limitándose su disponibilidad (Cabrera & García, 2006), debido a la introducción de agentes contaminantes ya sean de origen natural o antrópico (Coello, Ormaza, Déley, Recalde, & Rios, 2013); (Guillén, Teck, Kohlmann, & Yeomans, 2012).

El desarrollo de la vida y de las actividades diarias humanas depende del agua que es uno de los recursos naturales más importantes de nuestro planeta, por ello es importante la conservación y el mantenimiento de la calidad de las fuentes naturales, para que las futuras generaciones puedan acceder a las mismas (Ávila & Estupiñán, 2012).

Elevadas cantidades de microorganismos en el agua, principalmente los de origen fecal se han convertido en una amenaza para las condiciones sanitarias y nutricionales de la población, especialmente para las personas de escasos recursos económicos, que son los que tienen mayor afectación de enfermedades de origen hídrico (Cabrera & García, 2006).

El grupo de bacterias Coliformes es considerado como el principal indicador de contaminación fecal en los ecosistemas acuáticos (Silva, Villalobos, & Ortega, 2012). El agua puede ser utilizada para distintos fines como: consumo humano, agricultura, industria y actividades de recreación; debido a esto es muy importante que se realice evaluaciones de su calidad sanitaria y esto se puede lograr a través de la utilización de las bacterias Coliformes (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1995).

Monitoreos que nos proporcionen datos confiables son la base indispensable para tales evaluaciones (Bartram & Ballance, 1996).

El presente trabajo está enfocado en la ejecución de monitoreos para evaluar la calidad microbiológica de las cuencas Dudas y Mazar, a través de la cuantificación de los microorganismos presentes en estas cuencas, se determinará si la carga microbiana excede los límites permisibles establecidos en la normativa vigente.

1.1 Antecedentes.

El uso de aguas residuales para riego se practica ampliamente en países en desarrollo como Sudáfrica debido a la escasez local de agua dulce, pero poco se entiende en estos países en desarrollo sobre los riesgos potenciales asociados con su uso, Gemmell & Schmidt, (2012) realizaron un estudio para establecer posibles vínculos entre la calidad del agua de los ríos y la calidad microbiológica de los productos frescos irrigados con esta agua, en Sobantu, Sudáfrica. Se analizaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos (recuento de placas aeróbicas, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*) de agua de riego y productos. Los conteos de coliformes fecales frecuentemente excedieron los valores máximos recomendados sugeridos por la Organización Mundial de la Salud y el Departamento de Agua de Sudáfrica para el riego

seguro, así como los valores máximos recomendados por el Departamento de Salud (Sudáfrica) para el consumo de productos crudos. Lo que indica que el riego de productos con agua contaminada con coliformes fecales, pone en riesgo a los consumidores.

A pesar del control y prevención que se persigue, en muchos países se reportan aguas contaminadas con coliformes, lo que hace que la calidad del agua no sea la deseada, de acuerdo con Romeu, Larrea, Lugo, Rojas, & Heydrich, (2012) en su estudio “Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba”, el agua de este río además de ser utilizada para el riego de cultivos es utilizada para realizar actividades de recreación; dentro de los parámetros físico-químicos el pH y la temperatura obtenidos in situ permanecieron en los rangos óptimos para el crecimiento bacteriano, pero las concentraciones de E. coli y coliformes termotolerantes, fueron superiores al límite máximo permisible establecido. Por lo que determinaron que la calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó es inadecuada para la realización de actividades recreativas y el riego agrícola.

En varios países la generación de aguas residuales y sobreproducción de desechos por diferentes actividades realizadas por el hombre se convierten en una fuente de contaminación que amenaza la calidad del agua, Chán & Peña, (2015) en su estudio “Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala” eligieron tres ríos en esta cuenca en donde se desarrollan actividades agropecuarias y poblaciones urbanas y rurales. En los tres ríos existen cantidades significativas de coliformes totales y fecales, constituyendo una amenaza, por lo que no son aptas para consumo.

En el Ecuador la calidad del agua de los ríos también se ve comprometida, debido a que la mayor parte de los ríos se encuentran contaminados por diversos factores como: aguas servidas domésticas e industriales, actividades agrícolas y desechos sólidos (Lloret, 2000), en el estudio

“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA DE LOS RÍOS, NAGSICHE Y PUMACUNCHI, PERTENECIENTES A LA SUBCUENCA DEL RÍO PATATE, DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI” llevado a cabo por Pérez & Quishpi, (2016), se determinó la calidad del agua con el índice ICA NSF que toma en cuenta nueve parámetros entre los que se incluye los coliformes fecales, indicaron que la calidad del río Pumacunchi va de regular a mala, por lo que necesita un tratamiento de purificación para ser consumida y la calidad del río Nagsiche va de buena a regular, pero igualmente necesita una purificación por ejemplo con cloro, para que sea apta para su consumo. Las principales fuentes de contaminación para estos ríos fueron las descargas de aguas residuales de las comunidades cercanas, actividades agrícolas y la utilización de los ríos como bebederos de animales y pastoreo en las cercanías del río.

Acosta, (2010), considera que “Ecuador es un país con agua suficiente en términos nacionales y con cuatro veces más agua superficial que el promedio per cápita mundial. Pero el problema es que está mal distribuida, la contaminación crece y las fuentes la destruyen de manera acelerada”, en el trabajo “Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador” desarrollado por Coello et al., (2013) determinaron que estas tres microcuencas presentaban buena calidad, los resultados microbiológicos se encontraban dentro de los límites establecidos en normativas ecuatorianas, pero a su criterio una disminución considerable en el caudal de los ríos provocaría una modificación del ecosistema de los mismos.

La presencia de elevadas cantidades de contaminantes en los ríos del Ecuador han determinado la necesidad de ejecutar monitoreos para cuantificar y evaluar su calidad, por ejemplo Carrillo & Urgilés, (2016) en su trabajo “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DE LOS RÍOS MAZAR Y PINDILIG”, determinaron que para las subcuencas

de los ríos Mazar y Pindilig la calidad del agua presenta un deterioro a medida que avanza su recorrido aguas abajo considerándose agua de buena calidad en épocas secas, pero cuando se presentaron altas precipitaciones fue considerada agua de mediana calidad, debido a que los valores de ciertos parámetros como la turbiedad, fosfatos y coliformes fecales se elevaron considerablemente.

1.2 Planteamiento del problema.

De acuerdo con el World Resources Institute (WRI) alrededor de 2.300 millones de personas viven en zonas donde el requerimiento de agua es cubierto por la extracción de ésta de cuencas que están bajo grave estrés hídrico, ya que la disponibilidad anual de agua por habitante es inferior a $1700\ m^3$ (WRI, 2008). El estrés hídrico es provocado debido a la combinación de varios factores como el crecimiento de la población humana, desarrollo industrial y agrícola (Johnson, Revenga, & Echeverria, 2001), la construcción resultante de presas, y la extracción excesiva de agua subterránea de pozos perforados (Postel, 2000).

Las cuencas altas de los Andes tropicales del Ecuador proporcionan importantes recursos hídricos a la región (Céleri & Feyen, 2009). Los ríos Dudas y Mazar ubicados en la provincia del Cañar-Ecuador, son la fuente hídrica principal de las comunidades que viven en las áreas cercanas a estos ríos. Sin embargo, actividades que se desarrollan en estas cuencas como la ganadería, agricultura, deforestación y erosión, ha provocado que la calidad del agua de estas cuencas se vea comprometida. Las riberas de estos ríos son utilizadas como zonas de bebedero animal, además de ser lugares de acúmulo de estiércol lo que provoca la contaminación del agua con coliformes fecales que son microorganismos patógenos que pueden ser causantes de enfermedades en el ser humano.

Esta afectación a la calidad del agua no se da solo en el Ecuador sino a nivel mundial existe una preocupación sobre el estado en el que se encuentran actualmente los ríos, es por ello que se establecen programas de monitoreo para verificar si las características de este recurso indispensable para los seres humanos cumplen con las condiciones que se requieren para su uso y cómo afectan su calidad el vertimiento de contaminantes originados por actividades antrópicas (Shin, Artigas, Hobbble, & Lee, 2013).

1.3 Justificación.

El agua dulce es el requisito más esencial para la vida y, sin embargo, comprende sólo <1% de las aguas superficiales de la Tierra (Johnson et al., 2001). El agua también apoya todas las formas de vida y afecta nuestra salud, estilo de vida y bienestar económico (Rajiv, Hasna, Kamaraj, Rajeshwari, & Sankar, 2012).

Es importante que los recursos hídricos del Ecuador sean conservados, adecuadamente manejados y sustentables, debido a que existe una diferencia significativa de la riqueza que poseen las diferentes cuencas; además alrededor del 70% de la energía eléctrica en el país tiene origen hidráulico (Galárraga, 2001).

La calidad del agua de los ríos en el Ecuador se ha visto afectada, debido a deslizamientos, desperdicios domésticos, químicos agrícolas, deforestación y las inadecuadas prácticas del uso del terreno, que provocan afectación a los recursos naturales, también debido a esto se han incrementado las cargas de sedimentos en los ríos y arroyos, amenazando de esta manera a los ecosistemas, provocando graves riesgos para la salud y el equilibrio ambiental (Soto & Reina, 2012).

El agua dulce es utilizada para diferentes fines, para el consumo humano, para regar cultivos, recreación y constituye una fuente de biodiversidad; su contaminación se presenta de dos maneras: pérdida de la calidad intrínseca o natural y agotamiento o disminución de los recursos, lo que ha provocado un déficit de caudales disponibles (Guillén et al., 2012). Por esta razón entidades que se preocupan por el cuidado de los recursos hídricos y su explotación sostenible, han ejecutado programas de monitoreo que se enfocan no solamente en la cantidad sino principalmente en la calidad de los ríos por ejemplo, la Environmental Protection Agency (EPA) en los Estados Unidos o la European Union Water Framework Directive en Europa elaboran programas de control, conservación y gestión de los sistemas acuáticos con el propósito de hacer uso sustentable de estos recursos (Carrión, 2013).

Realizar monitoreos en los recursos hídricos del país es de suma importancia ya que esto nos permitirá evaluar las condiciones actuales de estos cuerpos de agua. Los ríos Mazar y Dudas son cuencas andinas altas del sur del Ecuador, y son la única fuente de suministro de agua para las comunidades cercanas, por lo que necesario conocer y evaluar su calidad microbiológica, de esta forma podremos establecer si los ríos cumplen con los límites permisibles establecidos en las normativas vigentes, principalmente si existe contaminación por bacterias coliformes, debido a que su presencia nos manifiesta la presencia de microorganismos potencialmente patógenos para la salud de las personas (Hunter, Perkins, Tranter, & Hardwick, 2000).

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Determinar la concentración de coliformes totales, coliformes fecales y aerobios, cuantificando la variabilidad espacial y temporal en las cuencas de los ríos Mazar y Dudas en la Provincia del Cañar.

1.4.2 Objetivos Específicos.

1. Caracterizar el área mediante el uso del sistema de información geográfica (SIG) determinando los puntos de muestreo y la cobertura vegetal que afecta los puntos de muestreo de las cuencas de estudio.
2. Determinar la concentración de coliformes totales y fecales en las muestras recolectadas por medio del método del Número más Probable (NMP) y de aerobios por medio de placas Petrifilm, estableciendo su variabilidad espacial y temporal en las cuencas estudiadas.
3. Determinar si existe una relación entre la densidad microbiana y los tipos de cubierta vegetal del área a través de un sistema de información geográfica, caracterizando la influencia del uso del suelo sobre la calidad del agua.
4. Comparar la concentración de sólidos totales suspendidos (STS) y la densidad microbiana mediante un análisis de regresión determinando si existe una relación entre los parámetros.

1.5 Hipótesis.

Los niveles de microorganismos detectados en los ríos Mazar y Dudas se encuentran fuera de los límites permisibles por la normativa vigente, por lo tanto, no son adecuados para riego o consumo humano.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Estado del arte.

En el presente trabajo experimental se evaluará la calidad microbiológica del agua de dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador a través de la cuantificación de su densidad microbiana, al realizar una revisión de diferentes fuentes con respecto a la temática se pudo evidenciar que en la mayoría de los monitoreos ejecutados los niveles de microorganismos principalmente bacterias de origen fecal superaban los Límites Máximos Permisibles (LMP) por las normativas en vigencia. Lo que es una situación preocupante debido a que en los países en desarrollo debido al limitado acceso que hay al agua potable, se le da uso al agua de los ríos para consumo humano, para riego, actividades de recreación, etc; lo que puede causar graves riesgos para la salud de las personas, por diferentes enfermedades que se presentan por consumir o tener contacto con agua contaminada con microorganismos patógenos. Por esta razón en la actualidad existe mucho interés por conocer la calidad microbiológica de los ríos, se han realizado varios monitoreos en diferentes cuencas como los siguientes:

Romero, García, Valdez, & Vega, (2010) en su trabajo “Calidad del Agua para Actividades Recreativas del Río Hardy en la Región Fronteriza México-Estados Unidos”; señalan que en el caso de las aguas naturales la contaminación puede originarse por los propios organismos ambientales acuáticos, pero también puede provenir de los efluentes de aguas residuales o industriales, de las actividades agrícolas y ganaderas, o de animales que viven en el entorno acuático. Desde el punto de vista bacteriológico, el examen de la calidad sanitaria del agua tiene por objetivo determinar la presencia de ciertos grupos de bacterias, que revelen una contaminación

por materia fecal o por materia orgánica. Las actividades de monitoreo son una herramienta para evaluar la calidad del agua y permiten determinar si un cuerpo de agua es apto para soportar los diferentes usos como vida acuática, recreación o pesca. Así en este estudio se encontró que la concentración de *E. coli* en varios puntos del río superaron los LMP. Lo que podría originar el desarrollo de enfermedades relacionadas con el consumo o contacto directo con el agua de esta cuenca.

Según Romero, Gómez, Sánchez, & García, (2009) en su trabajo “Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México”; indican que la evaluación de la contaminación de los suministros de agua constituye una de las principales obligaciones de los profesionales de la salud pública. Pero a pesar del control y prevención que se persigue, en muchos países se reportan aguas contaminadas con coliformes, lo que hace que la calidad del agua no sea la deseada ni la adecuada. Si bien muchos países tienen agua en grandes cantidades, el aumento poblacional, la contaminación de las industrias, el uso excesivo de agroquímicos, la falta de tratamiento de aguas negras y la erosión de suelos por la deforestación hacen que ese recurso sea escaso. Sin embargo, dentro de este estudio la cantidad de coliformes fecales presentes no rebasó los LMP, esto implica que las actividades antrópicas no están afectando de una forma considerable a esta cuenca.

Chán & Peña, (2015) en su estudio titulado “Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala” eligieron tres ríos de la cuenca alta del Sis Icán (Chitá, Ixconá-Sis y Sacobá) para determinar si la calidad de agua es apta para consumo humano. Establecieron dos puntos de muestreo en cabecera y desembocadura de cada río y se evaluaron parámetros químicos (nitritos, nitratos, sulfatos, dureza, entre otros) y microbiológicos (coliformes totales y fecales). Determinaron que los parámetros químicos no

afectan la calidad del agua, pero los microbiológicos constituyen una amenaza ya que estuvieron presentes en los seis puntos de muestreo. También pudieron comprobar que la calidad del agua en las desembocaduras es menor a la de las cabeceras tanto desde el punto de vista químico como microbiológico.

Mite et al., (2016) en su estudio “Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador”; evaluaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua en nueve estaciones de bombeo del EPMAPAQ (Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Quevedo) compararon los resultados obtenidos con los valores de referencia establecidos en las normativas. Mencionan que los parámetros (físicos, químicos y biológicos) como indicadores de calidad del agua, ofrecen múltiples ventajas tales como: la presencia en la mayoría de los sistemas acuáticos continentales, la naturaleza sedentaria de los organismos, la simplicidad metodológica y una alta confiabilidad, lo que hace de estos métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria del estado ecológico en las aguas dulces.

Dentro del estudio los valores de coliformes fecales, Manganeseo y oxígeno disuelto en época lluviosa, sobrepasan los límites máximos permisibles. Los parámetros pH, dureza, color, nitritos y fosfatos aumentaron en la época lluviosa y, nitratos y hierro en la época seca, por lo tanto, el agua del cantón Quevedo está levemente contaminada y requiere tratamiento de potabilización previo a su consumo; se sugirió la ejecución de un monitoreo permanente con el fin de identificar los focos de contaminación y su evolución en el tiempo (Mite et al., 2016).

El Número Más Probable es uno de los métodos más utilizados para evaluar la calidad microbiológica en los cuerpos de agua:

Gemmell & Schmidt, (2012) en su estudio “Microbiological assessment of river water used for the irrigation of fresh produce in a sub-urban community in Sobantu, South Africa” establecieron vínculos potenciales entre la calidad del agua de los ríos de una comunidad suburbana en Sobantu, Sudáfrica y la calidad microbiológica de los productos frescos irrigados con esta agua. Analizaron parámetros físico químicos como la temperatura, pH y la demanda química de oxígeno y los microbiológicos en donde los coliformes totales y fecales fueron cuantificados por medio del método denominada Número Más Probable. Los niveles de coliformes fecales excedían frecuentemente los LMP sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Medha & Hysko, (2014) en su trabajo “Assessment of water quality of Buna River using microbiological analysis” evaluaron la calidad del río Buna en base a parámetros físico-químicos (pH, temperatura y conductividad) y microbiológicos (coliformes fecales); tomaron muestras en tres puntos diferentes durante los años 2013-2014. Los coliformes totales fueron determinados mediante el uso de la técnica de tubos múltiples de fermentación o número más probable. Se evidenció una contaminación considerable del agua, especialmente en el primer punto de muestreo donde comienza el río Buna. La presencia de alto nivel de estos microorganismos indica que la calidad del agua del río es mala de acuerdo a las normas. Es por ello que los autores consideran necesario monitorear continuamente la calidad del agua del Río Buna, con el fin de reducir el riesgo para la flora y fauna que puebla el Río Buna, así como para los humanos.

Rivera, Encina, Muñoz, & Mejias, (2004) en su trabajo “La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile” establecieron la calidad descriptiva de agua de los ríos Cautín e Imperial, establecieron 10 estaciones de muestreo para evaluar parámetros fisicoquímicos que fueron medidos in situ y los parámetros microbiológicos fueron determinados por medio del Número Más Probable. En algunas estaciones de muestreo el recuento de bacterias coliformes

totales fue elevado lo que significa que el agua de estas cuencas no debería ser utilizado para actividades con contacto directo o para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo.

Silva, Villalobos, & Ortega, (2012) en su estudio “Calidad bacteriológica del agua del río Cataniapo, municipio Atures, estado Amazonas, Venezuela” recolectaron 11 muestras a lo largo de las cuencas alta, media y baja del río Cataniapo y a través del Número Más Probable determinaron coliformes totales y fecales. Los niveles de coliformes totales y fecales fueron altos en la cuenca baja del río debido a la introducción y descomposición de residuos de origen antropogénico en la zona de estudio; en general hubo presencia de coliformes totales y fecales en todos los puntos de muestreo, por esta razón asumieron que las aguas de la cuenca no deben ser usadas para el consumo humano sin el tratamiento fisicoquímico adecuado. Además, sugirieron el monitoreo constante de la calidad microbiológica de esta cuenca por sus altos niveles de contaminación con coliformes.

Gil Marín et al., (2013) en su trabajo “Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela” determinaron la calidad microbiológica y los niveles de nitratos y nitritos presentes en esta cuenca. Para la determinación de los microorganismos la metodología empleada fue recuento total de colonias en placas y la técnica del número más probable, y para la determinación de nitrato y nitrito se utilizó un fotómetro multiparamétrico de sobremesa. La concentración de microorganismos (mesófilos, coliformes totales y fecales), en esta cuenca supera el LMP de la norma vigente del país, esto se da principalmente en la cuenca baja del río Guarapiche.

2.2 Calidad del Agua.

La calidad del agua es un término utilizado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua, usualmente su capacidad para mantener un ecosistema saludable. La calidad del agua puede ser modificada o afectada tanto por procesos naturales como por actividades humanas que conducen a la contaminación de los cuerpos de agua (DWEA, 2011).

La salubridad de un sistema acuático es muy importante y no se toma en cuenta solamente la cantidad de agua, sino principalmente su calidad (Gil Marín et al., 2013). La calidad del agua merece una atención especial debido a su implicación directa en la salud pública y la calidad de vida (Viessman & Hammer, 1998).

2.2.1 Descripción de los parámetros que definen la calidad del Agua.

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos son los que definen la calidad del agua.

- **Parámetros físicos:** si bien determinadas modificaciones en la calidad del agua pueden no ser peligrosas, tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Por ejemplo, los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, la temperatura (SEPADAL, 2010).
- **Parámetros químicos:** el agua puede contaminarse por metales pesados tóxicos como plomos, arsénico, cromo y mercurio debido a actividades industriales, el sector agrícola también puede generar contaminación principalmente con nitratos y nitritos, cuando se utilizan fertilizantes y en el caso del uso de plaguicidas que contaminan el agua y se vuelven potencialmente tóxicos para los humanos (Chapman, 1996)

- **Parámetros microbiológicos:** existen un sinnúmero de organismos que contaminan el agua y las bacterias son los principales contaminantes del agua, pero también están los virus, parásitos, etc. Dentro las bacterias los coliformes principalmente los fecales son indicadores biológicos de la calidad bacteriológica del agua y su contaminación con desechos fecales provenientes de la flora intestinal de animales y del ser humano (Rojas, 2011).

2.2.1.1 Descripción de los Parámetros físicos.

- **Temperatura:** tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica (SEPADAL, 2010).
- **Potencial de Hidrógeno pH:** se calcula con el fin de estimar algún tipo de efecto por acidez o alcalinidad producida por acciones naturales o antropogénicas. El pH del agua es importante porque afecta a la solubilidad y disponibilidad de nutrientes, y cómo pueden ser utilizados por los organismos acuáticos (Chapman, 1996).
- **Conductividad eléctrica:** medida de la capacidad de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de una solución, esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentración relativas, así como la temperatura del agua (SEPADAL, 2010).
- **Sólidos Totales disueltos:** corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua en la estufa a 105 °C, pueden influir en el color, olor y la turbiedad del agua (Sawyer, McCarty, Parkin, Arteaga, & Agudelo, 2001).
- **Color:** esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella (Barrenechea, 2004).

2.2.1.2 Parámetros Químicos.

- **Aceites y grasas:** el aceite es nocivo para la vida acuática, reduce la aeración y disminuye la penetración de luz solar necesaria para la fotosíntesis de las plantas acuáticas (C. Hernández, 2010).
- **Dureza:** Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio (SEPADAL, 2010). Cuando el agua se considera blanda su dureza menor de 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como mg de CaCO₃/L) (Barrenechea, 2004).
- **Alcalinidad:** es la capacidad de neutralización de ácidos del agua, los aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad (Chapman, 1996).
- **Oxígeno Disuelto:** es la cantidad de oxígeno disuelto en agua, medida en miligramos por litro (mg / L); la capacidad del agua para mantener el oxígeno en solución es inversamente proporcional a la temperatura del agua por ejemplo, cuanto más fresca es la temperatura del agua, más oxígeno disuelto puede retener (Chapman, 1996).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** es una medida de la cantidad de oxígeno es utilizado por los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica por oxidación aeróbica (Chapman, 1996).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** se utiliza ampliamente como medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua y en los efluentes de las aguas residuales e industriales (Chapman, 1996).

- **Nitratos:** Los nitratos provienen de la oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente de las eliminadas por los animales, así como por el uso de fertilizantes y el aumento de la población (Barrenechea, 2004).
- **Fosfatos:** Los fosfatos se originan del uso de detergentes y fertilizantes que pueden llegar al agua por escorrentía de sectores agrícolas e industriales (SEPADAL, 2010).

2.2.1.3 Parámetros Microbiológicos.

- **Bacterias.**

Las bacterias que se encuentran con más frecuencia en el agua son aquellas que están localizadas en el tracto gastrointestinal del hombre y animales denominadas bacterias entéricas que son eliminada en la materia fecal (Chapman, 1996). La detección y cuantificación de estas bacterias en laboratorio es complicada y lenta; debido a esto se ha seleccionado a las bacterias coliformes como indicadores, porque su detección es más rápida y sencilla (Arcos, 2005).

(Pérez & Quishpi, 2016) manifestaron que la presencia de coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua.

- **Coliformes Totales**

Son bacilos gram-negativos, aerobios o anaerobios facultativos, capaces de desarrollarse en presencia de sales biliares que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $35,0 \pm 0,5$ °C en 24-48 horas, la mayoría de las bacterias del grupo coliforme pertenece a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* (Perdomo, Casanova, & Ciganda, 2001).

- **Coliformes Fecales.**

La presencia de coliformes fecales es casi exclusiva de las heces de animales de sangre caliente, se los considera como el mejor indicador de la presencia de contaminación fecal (Mandigan, Martinko, & Parker, 1999), así como para la adquisición de enfermedades en el ser humano, y proceden del tracto gastrointestinal de los animales de sangre caliente (Perdomo et al., 2001).

- **Virus.**

A través del agua más de 140 virus entéricos pueden ser transmitidos al hombre; entre los virus más comunes se encuentran los causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis (Pérez & Quishpi, 2016)

- **Parásitos.**

Organismos que resultan patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos (Arcos, 2005).

2.3 Índices de Calidad del Agua.

Un Índice de Calidad del Agua (ICA) es una herramienta estadística para evaluar la calidad de un cuerpo de agua (Jena, Dixit, & Gupta, 2013).

En la actualidad se destacan por su uso en varios países el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF) y los Índices Biológicos que han ido adquiriendo importancia en los últimos años, sobre todo con el uso de macroinvertebrados.

2.3.1 Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF).

El ICA-NSF en la actualidad es utilizado ampliamente para evaluar la calidad de los ríos a través del tiempo, en diferentes países de Latinoamérica.

Con el apoyo de la Fundación Nacional de Saneamiento Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, (1970) presentaron un índice para la calidad del agua. Su trabajo se puede resumir de la siguiente manera:

Para el estudio se formó un panel de 142 personas con experiencia en gestión de la calidad del agua, se pidió a los panelistas que consideraran 35 parámetros para su posible inclusión en el índice; cada parámetro debía ser asignado a una de las siguientes opciones: no incluir, indeciso o incluir y también se pidió a los miembros del panel que asignaran una clasificación de importancia para cada parámetro en una escala de 1-5, donde 1 correspondía a la significación más alta mientras que 5 correspondía a la significación más baja (Brown et al., 1970).

Se evaluaron las respuestas de los expertos y se seleccionaron finalmente nueve variables de mayor importancia (Brown et al., 1970):

- Oxígeno disuelto (OD) expresado como porcentaje de saturación (OD, en % Sat)
- Coliformes Fecales (Coli. F, en NMP/100 ml)
- Potencial de hidrógeno (unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅, en mg/l)
- Sólidos disueltos totales (SDT, en mg/l)
- Nitratos (NO₃⁻², en mg/l)
- Fosfatos (PO₄⁻³, en mg/l)

- Temperatura (T)
- Turbidez (NTU)

El modelo desarrollado por la Fundación Nacional de Sanidad de los EE.UU. (ICA-NSF), emplea una escala de 100 puntos que sintetiza los valores de nueve parámetros con diferentes ponderaciones entre 0 a 100 (Brown et al., 1970).

Para calcular el valor ICA-NSF se necesitan los valores de los nueve parámetros que se consideran en el cálculo de este índice y se realiza con la siguiente formula:

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

Figura 1. Fórmula para calcular el ICA-NSF.

Fuente: (Brown R. M., 1970)

Donde:

- ICAa: índice de calidad aditivo
- i: cada uno de los parámetros de calidad elegidos
- Ii: subíndice del parámetro i; (se encuentra entre 0 y 100)
- Wi: pesos relativos asignados a cada parámetro (Ii), y ponderados entre 0 y 100, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a 100.

Cuando se obtienen los valores de cada uno de los parámetros, se aplica la formula y se clasifica la calidad del agua conforme a los rangos que establecidos por el modelo ICA-NSF como se indica en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF.

Color Representativo	Rango Numérico	Clase
Rojo	0-25	Pésima calidad
Naranja	26-50	Mala calidad
Amarillo	51-70	Mediana calidad
Verde	71-90	Buena calidad
Azul	91-100	Excelente calidad

Fuente: (Ott, 1978)

2.3.2 Índices Biológicos.

Los índices biológicos para evaluar la calidad de los cuerpos de agua analizan los aspectos biológicos del medio acuático, los cuales al presentar cambios evidencian alteraciones en dicho medio, por lo tanto, estos índices se basan en la relación entre las características del medio y los organismos que en él se desarrollan (Margalef, 1983). Cualquier modificación que se presente en un medio acuático producirá un cambio en las comunidades de organismos, lo que va a favorecer a determinadas especies y va a crear situaciones adversas a otras, como resultado de esto la composición y estructura de dichas comunidades se verá alterada (García & Gonzáles, 1986).

En los últimos años se ha despertado el interés de conocer, proteger y estudiar qué cambios se producen a través del tiempo en los ecosistemas acuáticos, debido a esto se han desarrollado criterios biológicos (por ejemplo, las comunidades acuáticas de macroinvertebrados) que posibiliten la estimación de los efectos que producen las actividades humanas en estos ecosistemas (Figueroa, Valdovinos, Araya, & Parra, 2003)

2.3.3 Los macroinvertebrados como bioindicadores.

Según Aguirre, (2011) los macroinvertebrados han sido empleados frecuentemente como indicadores de las condiciones ecológicas y de la calidad del agua, por diferentes razones como: tener un ciclo de vida largo, escasa capacidad de movimiento, tamaño aceptable, amplio espectro ecológico.

Los macroinvertebrados son los organismos que mejor se han adaptado en los ecosistemas fluviales, estos viven en la mayoría de arroyos y ríos de todo el mundo, con excepción de los que se encuentran demasiado contaminados, también utilizan como hábitat sedimentos blandos y rocosos, así como plantas sumergidas (Rodríguez, Muñoz, Bonada, Gaudes, & Tamonova, 2009).

La manera en la que se comportan los macroinvertebrados ante las perturbaciones ambientales, son de mucha utilidad para determinar el impacto de los distintos tipos de contaminación (Aguirre, 2011).

Los macroinvertebrados poseen diferentes familias, las cuales poseen un rango de tolerancia diferente de acuerdo al tipo de perturbación que se esté generando, por esta razón su presencia o ausencia en un espacio y tiempo determinado, nos dará una idea de lo que está pasando en el ecosistema acuático que se está monitoreando (Aguirre, 2011).

2.3.3.1 El método BMPW.

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores (Gil, 2014). Para este método se necesita tener el conocimiento de las familias de los macroinvertebrados presentes y los datos son cualitativos ya

que considera la presencia o la ausencia de los bioindicadores, el puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Roldán, 2003).

La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Gil, 2014), (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP valores ajustados para Colombia.

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

Fuente: (Roldán, 2003).

Tabla 3. Clasificación de las aguas, significado ecológico de acuerdo al índice BMWP.

Clase	Calidad	BMPW	Significado	Color
I	Buena	>150; 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: (Roldán, 2003)

2.4 Contaminación del Agua.

La contaminación del agua puede darse debido a fuentes naturales o artificiales (antrópicas).

2.4.1 Fuentes Naturales.

Dependiendo de los lugares por donde el agua realice su recorrido puede incorporarse a esta, componentes de origen natural que provienen de su contacto con el suelo y la atmosfera, normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy específicos (González & Navarrete, 2015).

2.4.2 Fuentes Artificiales.

Son aquellas que se producen por las actividades del ser humano, también se las denomina antrópicas o antropogénicas. Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica.

1. **Industria:** de acuerdo al tipo de industria existen diferentes residuos, en los países desarrollados la contaminación del agua por residuos generados en las industrias es muy importante (Barba, 2002).

Tabla 4. Tipo de industria y los residuos que generan.

Sector Industrial	Sustancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica,
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tenso-activos, sulfuros, colorantes, grasas,
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F,
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y
Fertilizantes Nitratos y fosfatos.	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos,
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.

Fuente: (Barba, 2002).

2. **Vertidos urbanos:** se generan principalmente residuos orgánicos producto de las actividades domésticas, pero diferentes tipos de sustancias son arrastradas hacia los sistemas de alcantarillado, por ejemplo, emisiones de los automóviles como hidrocarburos, metales, etc (Barba, 2002).

3. **Navegación:** por los vertidos de petróleo ya sean accidentales o no, que contaminan el agua con hidrocarburos, causando graves daños ecológicos (Barba, 2002).
4. **Agricultura y ganadería:** el uso de fertilizantes, pesticidas y los restos orgánicos de plantas y animales empleados para el trabajo agrícola, contaminan de forma notable los recursos hídricos (Barba, 2002).

2.5 Efectos de la contaminación del agua en la salud.

Actualmente la contaminación del agua es un grave problema para la salud pública. Los mecanismos por los cuales se pueden transmitir enfermedades por aguas contaminadas son:

2.5.1 Directos.

Se da por ingerir agua contaminada, que procede de abastecimientos de poblaciones grandes o de pozos contaminados. También se da por contacto cutáneo o mucosa ya sea por fines recreativos, terapéuticos u ocupacionales; lo que puede causar infecciones locales o infecciones sistémicas en personas con problemas de inmunodepresión (G. García, 2002).

2.5.2 Indirectos.

El agua que está contaminada actúa como un vehículo de infecciones, alimentos contaminado por el riego con aguas residuales también puede ser el causante de transmitir varias enfermedades, algunos insectos cuya reproducción la realizan en el agua son transmisores de enfermedades como el paludismo o la fiebre amarilla (Pérez & Quishpi, 2016).

Tabla 5. Enfermedades por patógenos contaminantes del agua.

Microorganismo	Enfermedad	Síntomas
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados
Bacterias	Gastroenteritis	Náuseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte
Virus	Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia. Puede causar daños permanentes en el hígado
Virus	Poliomielitis	Dolores musculares intensos. Debilidad. Temblores. Parálisis. Puede ser mortal
Protozoos	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata
Gusanos	Esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas

Fuente: (García, 2002).

2.6 Cuenca Hidrográfica.

Espacio de terreno que se encuentra limitado por las montañas, colinas y laderas más altas, en éste se va formando una red con drenaje superficial cuyas aguas se concentran en un río principal que se incorpora a un río que es más grande, lago o al mar (Faustino & Jiménez, 2000).

Una cuenca hidrográfica es el lugar donde se encuentran localizados los recursos naturales como el agua, suelo, vegetación entre otros, además es en donde reside el ser humano y aquí lleva a cabo todas sus actividades (Faustino & Jiménez, 2000).

López & Hernández, (1972), definen la cuenca hidrográfica como “un área o superficie limitada por una línea o divisoria de aguas, dentro de la cual aparecen sistemas naturales, sociales y económicos, muy dinámicos e interrelacionados entre sí”.

Según la FAO, “la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.”

Una cuenca hidrográfica tiene límites definidos y estos facilita la planificación y el aprovechamiento de sus recursos. Dentro de la cuenca es posible entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como identificar los impactos generados por las actividades del hombre a lo largo de la red hidrográfica, lo que permite cuantificar la cantidad y calidad de agua disponible (Pérez & Quishpi, 2016).

2.6.1 División de una cuenca hidrográfica.

Para facilitar el manejo de una cuenca, es necesario dividirla en unidades más pequeñas. Estas unidades más pequeñas son las Subcuencas, las micro cuencas y por ultimo las quebradas (Umaña, 2002).

- **Subcuenca:** es todo cuerpo de agua cuyo drenaje va directamente al río principal de la cuenca. Es una subdivisión de la cuenca; lo que quiere decir que en una cuenca pueden existir varias subcuencas (Umaña, 2002).
- **Microcuenca:** toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; o sea que una Subcuenca está dividida en varias micro cuencas. Las microcuencas son unidades pequeñas (Ordoñez, 2011) y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas.

- **Quebrada:** Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca (Ordoñez, 2011).

2.6.2 Partes de una cuenca hidrográfica.

- **Cuenca alta:** es la cabecera de la cuenca, corresponde a la zona donde nace el río, además de la considera como la parte de la cuenca que por su posición capta y almacena la mayor parte de las precipitaciones y generalmente su cobertura vegetal es de pastos o bosques (Ibañez, 2012).
- **Cuenca media:** es la de mayor pendiente relativa, su caudal se caracteriza por torrentes turbulentos, además es conocida como la zona para el transporte de sedimentos (Ibañez, 2012).
- **Cuenca baja:** se caracteriza por tener un caudal de flujo continuo, un cauce definido y una planicie de inundación extensa. También es conocida como zona de deyección o de depósito (Ibañez, 2012).

La relación entre la parte alta y la baja de las cuencas es generalmente conflictiva por los efectos negativos que suele tener el uso de los recursos en las zonas elevadas sobre las áreas bajas.

2.7 Manejo integral de las cuencas hidrográficas.

El manejo integral de las cuencas hidrográficas es una parte muy importante dentro de las acciones de gestión ambiental, con las cuales se trata de minimizar los efectos ambientales negativos, los cuales son establecidos a través de la evaluación de la cantidad y calidad de los recursos que están presentes en la cuenca (Bahamondes, 2007).

Con el manejo integral se busca satisfacer las necesidades de los seres humanos de una forma en la que se pueda conservar los recursos naturales que se encuentran dentro de la cuenca (Ramakrishna, 1997), implementando acciones que tanto en la cuenca alta, media y baja permitan alcanzar un desarrollo sustentable (Tetreault, 2015). Se busca alcanzar el bienestar de la población, a través de la conservación de los recursos naturales para que puedan ser aprovechados por las futuras generaciones (Ramakrishna, 1997).

Es muy importante tener la habilidad para lograr solucionar los problemas y conflictos que nacen de la interacción entre los seres humanos y la naturaleza, en donde se busca una propuesta adecuada con el fin de proteger la naturaleza, pero sin afectar los beneficios que las personas obtienen de ella (Flores, 2010).

2.8 Descripción general de la cuenca del río Paute.

2.8.1 Ubicación y Superficie.

La cuenca del río Paute está situada en tres provincias de la región austral del Ecuador Azuay, Morona Santiago y Cañar (Ver figura 1). Se encuentra localizada entre las Cordilleras Oriental (límite este) y Occidental de los Andes (límite oeste). Cubre un área aproximadamente de 6.439 km², lo que corresponde al 2.5% del territorio nacional (Carrillo & Urgilés, 2016). De acuerdo con Cordero, (2013) el área de la cuenca del río Paute está distribuida de la siguiente manera: Azuay (57%), Cañar (24%) y Morona Santiago (19%).



Figura 2. Mapa de ubicación de la cuenca del río Paute en el Ecuador.

Fuente: (Cordero, 2013).

2.8.2 Climatología.

En la región interandina al sur del país es en donde nace el río Paute, su altitud es variable y va desde los 4600 msnm en la zona interandina hasta los 500 msnm en la vertiente amazónica. El clima es muy variado debido a la morfología y ubicación geográfica del río Paute, de la región amazónica provienen masas de aire húmedo que provoca durante todo el año lluvias en la cuenca baja principalmente, por otro lado, las masas de aire provenientes desde el océano pacífico que provocan precipitaciones dos veces al año principalmente en la cuenca alta y existen dos fenómenos que afectan significativamente a esta cuenca: el anticiclón del sur (afecta a la cuenca media) y el fenómeno del Niño (Cordero, 2013).

2.8.3 Temperatura.

Según Cordero, (2013) la temperatura en esta cuenca es variable y depende principalmente de la altitud y la exposición, la temperatura media en la cuenca alta, sobre los 3 000 msnm es menor a 12°C, mientras que, en la cuenca media y baja, entre los 2 000 y 3 000 msnm, la temperatura promedio varía entre los 18 °C y 12 °C.

2.8.4 Humedad relativa.

Esta también presenta variaciones con la altitud y otros parámetros climatológicos; en la cuenca alta existe un 88% de humedad relativa, en la cuenca media disminuye al 68% y 75% y en la cuenca baja la humedad relativa vuelve a subir con un 89% (Cordero, 2013).

2.8.5 Importancia de la cuenca del río Paute.

La conservación de la cuenca del río Paute es de vital importancia debido al importante potencial hidroeléctrico que posee, que con la capacidad instalada actualmente contribuye con el porcentaje más elevado de generación hidroeléctrica del país (60%). Este potencial de generación hidroeléctrica no se debe únicamente al caudal que esta cuenca produce (114 m³/seg), sino que es principalmente por su geomorfología característica que nos permite beneficiarnos de este recurso con enormes caídas de agua y actualmente la misma se almacena en los embalse de Amaluza y Mazar (Cordero, 2013).

2.9 Subcuencas de los ríos Mazar y Dudas.

Dentro de la provincia del Cañar los ríos Mazar y Dudas integran redes hidrográficas muy significativas (ver Figura 2). Estas cuencas están localizadas dentro de un área en la cual influyen directamente en el Proyecto Hidroeléctrico Mazar – Dudas, de 21 MW de potencia. Este proyecto

está compuesto por las centrales llamadas Alazán y San Antonio que utilizan las aguas del río Mazar, y en cuanto a la central Dudas, esta aprovecha las aguas del río Pindilig.

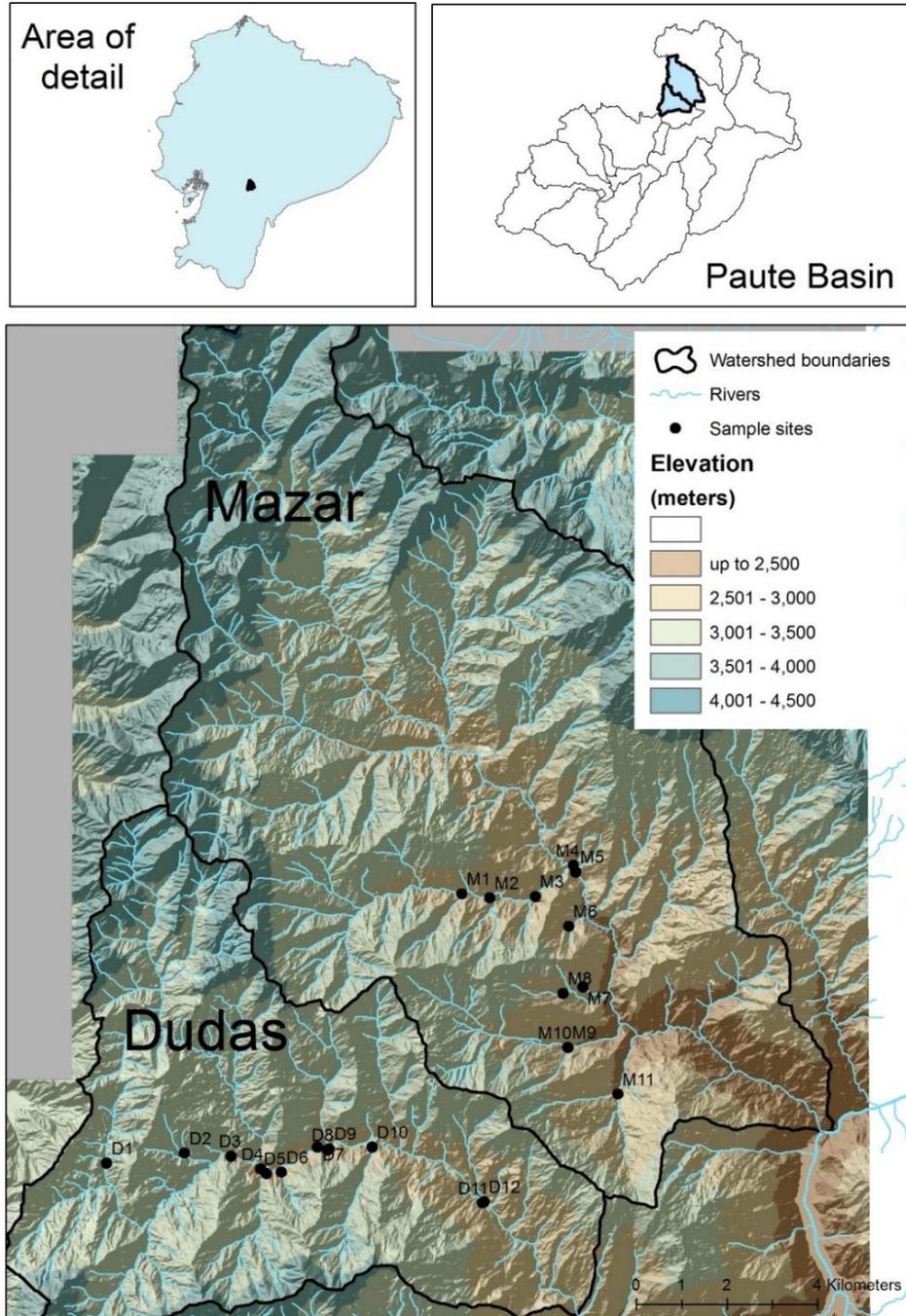


Figura 3. Mapa de las subcuencas de los ríos Mazar y Dudas.

Elaborado por: Beberley C. Wemple

2.9.1 Subcuenca del río Mazar.

2.9.1.1 Características Generales.

La subcuenca del río Mazar se encuentra localizada en el interior y próximo a la parte del sur del Parque Nacional Shangay, Ecuador, ubicada en la parte oriental de la cordillera de los Andes y posee una superficie de aproximadamente 16.577 ha. Esta cuenca tiene una importancia vital tanto a nivel local como nacional, ya que aguas abajo se encuentra el complejo hidroeléctrico Paute – Integral en donde se genera del total de energía del país el 35% (Thompson, 2012).

Topográficamente la zona del río Mazar es escarpada y montañosa, posee pendientes con promedios que son mayores al 40% y tiene una cobertura vegetal caracterizada por bosques montanos siempre verdes, páramos arbustivos, páramos y pastizales (Guzmán & León, 2012).

2.9.1.2 Caracterización Vegetal.

Dentro de las propuestas expuestas para la clasificación vegetal en la Sierra Ecuatoriana Valencia, Cerón, Palacios, & Sierra, (1999); Baquero et al., (2004) proponen tres formaciones vegetales más frecuentes en la cuenca alta del río Mazar: Páramo herbáceo, Bosque siempre-verde montano alto, y Bosque neblina montano (Salgado, Betancourt, & Cuesta, 2007).

“En la parte alta de la subcuenca existen formaciones vegetales con tierras de páramo, tierras con bosques arbustivos, tierras con bosques arbóreos y en menor proporción tierras con pastos cultivados en buenas condiciones” (Carrillo & Urgilés, 2016).

2.9.1.3 Clima

La subcuenca del río Mazar posee una temperatura media mensual que varía entre los 4 a 20 °C, durante la mayor parte del año su humedad relativa es mayor al 80% y la precipitación

media anual oscila entre los 1350 a 1400 mm (Guzmán & León, 2012), según Carrillo & Urgilés (2016) “tienen los valores máximos en los meses de Mayo, Junio y Julio, y los valores mínimos en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre” (p. 16) .

2.9.1.4 Calidad del agua.

Entre las principales causas principales de contaminación del río Mazar están las descargas de efluentes y presencia de desechos sólidos en lechos de quebradas. De acuerdo con el proyecto Dudas-Mazar y el estudio de impacto ambiental que llevaron a cabo, aplicando el índice de calidad del agua de la NSF, determinaron que las aguas del río Mazar tenían condiciones entre buena a regular (Carrillo & Urgilés, 2016).

2.9.1.5 Usos del suelo.

Un 29% de la cuenca alta del río Mazar se encuentra dividido entre cultivos, pastizales, áreas sin vegetación y frentes de población correspondientes a zonas urbanas. Si bien en las zonas de páramos se puede observar una integridad elevada, extensas zonas del mismo son periódicamente quemadas y tienen diversos grados de intensidad de pastoreo (Salgado et al., 2007).

La cobertura de vegetación que domina es el páramo herbáceo ya que cubre aproximadamente el 31% y le sigue con el 15% el bosque de neblina montano (Salgado et al., 2007).

2.9.2 Subcuenca del río Dudas.

2.9.2.1 Características Generales.

La subcuenca del río Dudas está ubicada en la Parroquia de Pindilig, Cantón de Azogues, Provincia de Cañar, limita con las parroquias de Rivera (al norte), Ingapirca (al oeste) y Taday (al sur) (Fundación Cordillera Tropical, 2008).

El río Dudas es una pequeña parte de la cuenca del río Paute, de 5.186 kilómetros cuadrados, cuya generación hidroeléctrica proporciona energía a gran parte del país, la cuenca ocupa 8.328 hectáreas que drenan de oeste a este; los parámetros básicos de la hidrología en Dudas reflejan un área de alta precipitación, limitación de la estacionalidad terreno empinado y niveles intermedios de alteraciones del uso de la tierra (Tabla 6) (Fundación Cordillera Tropical, 2008).

Tabla 6. Parámetros Hidrológicos Generales de las Cuencas Dudas y Mazar.

Variable	Dudas	Mazar
Sedimentos	30.9 Tm/año/km ²	18,8 Tm/año/km ²
Coefficiente de escorrentía	0,46	0,87
Caudal medio	3.05 m ³ /seg	5.05 m ³ /seg
Caudal específico	21,4 L/seg/ km ²	31,9 L/seg/ km ²

Fuente: Empresa Electrica de Azogues (EEA) y PROMAS / Universidad de Cuenca, nd [ca.2007], "Informe Final: Estudios de Prefactibilidad de las Centrales Hidroeléctricas de Llavircay y Dudas"

2.9.2.2 Clima.

El clima en la subcuenca del río Dudas es fresco y húmedo durante todo el año. En la parte superior de la cuenca, la temperatura media anual es de 11 °C con 1600 mm de precipitación al año, las temperaturas medias del valle son mayores, 18 °C, con un promedio de 1200 mm de precipitación al año (Fundación Cordillera Tropical, 2008).

2.9.2.3 Uso de la tierra y cambio de cobertura de la tierra.

La cuenca del río Dudas es un mosaico de áreas agrícolas intercalados con parches remanentes de bosque montano en todos sus sectores menos en el de Pindilig (Tabla 7), bosques montanos y páramos que quedan en Dudas forman el extremo sur de una masa más grande de la vegetación nativa, un número considerable de áreas están cubiertas de bosque secundario arbustivo que ahora representa más de una cuarta parte de la cubierta vegetal de la cuenca (Fundación Cordillera Tropical, 2008).

Tabla 7. Uso de la Tierra y Cubierta Vegetal de la subcuenca del río Dudas.

Uso actual de la tierra	Área (ha)
Bosque nativo	1499,84
Bosque secundario arbustivo	2286,57
Páramo	2457,94
Pasto y Páramo	248,61
Pasto	1442,85
Cultivos	243,84
Plantación de pinos	147,96
Lagos	0,63
TOTAL	8328,24

Fuente: EcoHomode, 2005, Gestión Ambiental y Plan de Acción de Manejo, Subcuenca del Río Dudas ProBona, Fundación Sela, Ministerio del Ambiente).

2.9.2.4 Calidad del agua.

Entre las principales causas principales de contaminación del río Dudas están las descargas de efluentes y presencia de ganado en las riberas a lo largo del río. Además, la presencia de grandes extensiones de terreno que está siendo cultivado en donde se utilizan abonos que principalmente en épocas de precipitaciones podrían ser arrastrados hacia el río, provocando contaminación en la

cuenca ya que, como resultado de esto los aspectos físicos, químicos y microbiológicos se verían afectados.

2.10 Marco legal del agua.

En el Ecuador existen diferentes leyes relacionadas con la protección de los recursos hídricos como las siguientes:

- La Constitución del Ecuador (2008).

Garantiza el goce del agua para sus habitantes sin ningún tipo de discriminación, y afirma:

“El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico, de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.

- Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (2002): Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Norma técnica ambiental dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional, norma que establece lo siguiente:

1. Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
2. Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,

3. Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108:2006. Agua Potable.

De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108:2006. Agua Potable. Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 ufc/ml.

2.11 Sistema de Información Geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema informático para capturar, almacenar, verificar y mostrar datos relacionados con posiciones en la superficie de la Tierra. El software SIG permite producir mapas y otras presentaciones gráficas de información geográfica para su análisis y presentación. Sistema hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

2.12 Número Más Probable (NMP).

La técnica del NMP o tubos de fermentación múltiple se ha utilizado para el análisis de agua potable durante muchos años con resultados satisfactorios. Es el único procedimiento que puede utilizarse si las muestras de agua son muy turbias o si se van a analizar semi-sólidos como sedimentos o lodos (Bartram & Pedley, 1996).

A través de este método se puede obtener un valor aproximado del número de bacterias por cada 100 mililitros de agua (NMP/100 ml), cuando se trata de detectar si existe o no contaminación de origen fecal en una muestra de agua, este método es uno de los principales empleados (Villegas, Prado, Ortega, & Zhurbenko, 2012).

Se siembran volúmenes decrecientes de la muestra (diluciones decimales consecutivas) en un medio de cultivo adecuado, a una temperatura y periodo de tiempo estándar. La presencia de coliformes está indicada por la turbidez en el medio de cultivo, por un cambio de pH y por la presencia de gas (Bartram & Pedley, 1996). El índice del NMP se determina comparando el patrón de resultados positivos (el número de tubos que muestran crecimiento en cada dilución) con tablas estadísticas. Generalmente se siembran cinco tubos por cada una de las tres diluciones de una muestra de agua, pero para ayudar reducir costos en este análisis se incuba un número menor de tubos en cada dilución, por ejemplo, tres en lugar de cinco. Se pierde cierta precisión, pero con 9 tubos en lugar de 15 se ahorran materiales, espacio en la incubadora y tiempo del analista (Bartram & Pedley, 1996).

El método consta de tres etapas: prueba presuntiva, prueba confirmativa de coliformes totales y prueba confirmativa de coliformes fecales, en donde se emplean como medios de cultivo caldo lauril triptosa, caldo lactosado verde brillante bilis y caldo EC respectivamente (Villegas et al., 2012).

2.13 Placas Petrifilm para recuento de aerobios.

Las placas Petrifilm para recuento de aerobios son un medio de cultivo listo para que pueda ser empleado, que contiene los nutrientes adecuados, un agente gelificante soluble en agua fría, y un tinte indicador de color rojo que facilita el recuento de las colonias. Las placas Petrifilm se utilizan para el recuento total de la población existente en la muestra que se esté analizando y se obtienen los resultados en unidades formadoras de colonias por mililitro. Este método da resultados en 48 horas y el analista reduce su tiempo de trabajo ya que no necesita preparar nada para realizar la inoculación, también se reduce el espacio que se necesita en la estufa ya que se pueden colocar veinte placas una encima de la otra.

CAPITULO III.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

En este capítulo se dará a conocer la metodología que será utilizada para alcanzar cada uno de los objetivos específicos que fueron planteados para el estudio de las cuencas de los ríos Mazar y Dudas en la Provincia del Cañar.

3.1 Fase 1: Caracterización.

Para desarrollar el primer objetivo específico se utilizó una investigación combinada documental y de campo (Muñoz, 1998). Para la obtención de los puntos de muestreo y la cobertura vegetal de las zonas de estudio en primer lugar, se realizó un levantamiento de información, posteriormente se elaboraron los mapas de la cobertura vegetal del área de estudio y por último se seleccionaron los puntos de muestreo más adecuados, desarrollándose con éxito todas las actividades propuestas.

3.1.1 Levantamiento de información.

A través de una investigación documental se efectuó un levantamiento de información de mapas que ayudaron a definir la zona de estudio y de fuentes primarias como tesis y artículos científicos que contribuyeron a desarrollar los criterios adecuados sobre la cobertura vegetal de la zona y para la selección de los posibles puntos de muestreo dentro de las cuencas Dudas y Mazar. Posteriormente se realizó una investigación de campo esta fue desarrollada en las áreas contempladas para este estudio, en donde se observó la cobertura vegetal, así como actividades ganaderas y agrícolas que puedan estar afectando el área de estudio. La información obtenida durante la investigación documental es validada en las visitas de campo en donde se evaluó

directamente el estado de las cuencas Dudas y Mazar, de esta forma se pueden elegir los puntos de muestreo más adecuados de acuerdo a la cobertura vegetal presente en dichos puntos.

3.1.2 Obtención de los mapas de cobertura vegetal.

Con la finalidad de tener un conocimiento sobre la distribución del paisaje vegetal en el área de estudio se realizó una revisión en los planos de la cobertura vegetal del proyecto "Generación del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, a escala 1:100.000" desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MAE) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), en base a utilización de herramientas derivadas de los sensores remotos (RapidEye y Landsat) y mediante la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG).

Con el fin de evaluar adecuadamente el área de estudio, se realizaron varias visitas de campo, en las que se identificaron las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en las cuencas. Posteriormente las zonas de estudio fueron caracterizadas a través de la utilización de un GPS, los planos de cobertura facilitados por el MAE y el Software ArcGIS. Los mapas de la cobertura vegetal de las cuencas Dudas y Mazar fueron obtenidos como resultado y con el uso de los mismos se ubicaron los posibles puntos de muestreo para cada una de las cuencas.

3.1.3 Selección de los puntos de muestreo.

Con la información levantada y los mapas de cobertura vegetal que se obtuvieron; se realizó una visita de campo para determinar *in situ* los puntos de muestreo y sus respectivas coordenadas.

Para la selección de los puntos de muestreo se tomó en consideración no solo el fácil acceso para la recolección de las muestras, sino también la influencia que podrían estar generando las

actividades antropogénicas en la contaminación microbiológica en las cuencas. Finalmente, se seleccionaron 11 puntos de muestreo en la cuenca del río Mazar, y 12 puntos de muestreo de la cuenca del río Dudas.

Las coordenadas obtenidas en la selección de los puntos de muestreo fueron introducidas al SIG, obteniéndose como resultado los mapas de la cobertura vegetal junto con la ubicación de los puntos de muestreo de cada una de las cuencas.

3.2 Fase 2: Laboratorio

Para alcanzar el segundo objetivo específico se utilizó una investigación documental y práctica (Muñoz, 1998). En primer lugar, a través de la revisión de normativas, artículos científicos y de manuales para análisis microbiológico de aguas su buscó establecer el protocolo más adecuado para la toma de muestras, así como para la cuantificación de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales. Posteriormente los métodos ya definidos en la investigación documental se pusieron en práctica en laboratorio.

3.2.1 Toma de muestras.

El programa de muestreo ejecutado para cuantificar la densidad microbiana de los ríos Dudas y Mazar, fue elaborado en base a las recomendaciones encontradas en las siguientes normas ecuatorianas: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 226:2000 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98.

El programa de muestreo ejecutado en los ríos Dudas y Mazar se realizó durante el periodo Marzo – Junio del 2017, meses considerados representativos de la época invernal (Carrillo & Urgilés, 2016). La frecuencia de muestreo fue una vez por mes en marzo y abril, y después de

observar el comportamiento de la zona de estudio se consideró importante realizar un monitoreo quincenal para los meses de mayo y junio.

Uno de los trabajos más relevantes es el momento de la recolección de las muestras, ya que de estas depende, no solamente los resultados sino la interpretación de los mismos. Para el presente estudio se recolectaron muestras simples de 1000 cc en envases previamente esterilizados. También se debe tener presente al seleccionar los envases que este tipo de muestras debe mantenerse refrigerada hasta su llegada al laboratorio y procesamiento (Basán et al., 2009).

Para la evaluación de los coliformes totales y fecales se seleccionaron seis puntos de muestreo. Tres correspondientes al río Mazar y tres del río Dudas, puntos seleccionados de acuerdo a la presencia de cobertura vegetal, su distribución en la respectiva cuenca punto alto, medio y bajo y presencia de actividades antropogénicas que tengan influencia directa sobre calidad microbiológica del agua.

Aspectos importantes para la toma de muestras:

- Las muestras deben ser tomadas lo más alejadas posible de la orilla, a contra corriente y a la mayor profundidad de la superficie que fuera posible.
- En el momento de recolectar la muestra no llenar completamente el frasco, se debe dejar un pequeño espacio libre que mantenga una cantidad mínima de oxígeno en el frasco.
- Antes de cerrar el envase que contiene la muestra se procede a tomar la temperatura, se debe introducir el termómetro dentro del envase por un tiempo de 4-7 minutos y se registra la temperatura en la hoja de datos.

- Las muestras deben ser etiquetadas indicando el nombre del punto de muestreo, fecha y hora.
- Adicionalmente las muestras deben ser preservadas adecuadamente en cajas térmicas portátiles, sin ingreso de luz y a una temperatura de 4 °C a 6 °C, con la finalidad de evitar posibles cambios para la realización del análisis correspondiente en el laboratorio.

3.2.2 Metodología para la determinación del pH.

La determinación del pH se debe realizar en el laboratorio inmediatamente después del regreso de la recolección de las muestras; se utilizó el pH-metro marca Mettler Toledo.



Figura 4. pH-metro.

Fuente: Autora

3.2.3 Metodología para la determinación de aerobios

Para la determinación de aerobios se utilizó la técnica de placas Petrifilm, que nos ofrece algunas ventajas como el ahorro de tiempo, mayor uniformidad y menor riesgo de contaminación en comparación con las placas de agar.

Tabla 8. Materiales, reactivos y equipos para determinación de Aerobios.

Materiales	
Placas Petrifilm para recuento de aerobios	Dispersor
Micropipeta de 1000µl	Puntas de micropipeta
Mechero	Micro torch
Reactivos	
Agua destilada	Agua de peptona
Equipos	
 <p style="text-align: center;"><i>Figura 5. Estufa marca Memmert.</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Figura 6. Contador de colonias Boeco.</i></p>

Fuente: Autora

Al término de la siembra de las muestras en las placas Petrifilm, hay que incubarlas por 48-72 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se reporta la presencia de aerobios en unidades formadoras de colonias por mililitro UFC/ml.

3.2.4 Metodología para la determinación de Coliformes totales y fecales

Para la determinación de coliformes totales y fecales, después de realizar la investigación documental respectiva, la técnica seleccionada fue la de Tubos Múltiples o Número más Probable (NMP) que es una técnica económica en comparación con otras y además es utilizada ampliamente para el análisis microbiológico del agua (Cázares & Alcántara, 2014).

Tabla 9. Materiales, reactivos y equipos para la determinación de Coliformes totales y fecales.

Materiales		
Tubos de ensayo	Gradillas	
Vasos de precipitación de 600, 200 y 50 mililitros	Luna de reloj	
Bureta	Espátula	
Soporte universal	Tubos Durham	
Micropipeta de 1000µl	Puntas de micropipeta	
Mechero	Micro torch	
Asa de siembra		
Reactivos		
Caldo EC	Caldo Lauril Sulfato de Sodio	
Agua de Peptona	Caldo Verde brillante 2%	
Agua destilada		
Equipos		
 <p><i>Figura 7. Autoclave - Phoenix Lufenco.</i></p>	 <p><i>Estufa marca memmert.</i></p>	 <p><i>Figura 8. Hornilla eléctrica doble - Proctor Silex.</i></p>

Fuente: Autora

De acuerdo a Gesche, Vallejos, & Saez, (2003) y Cázares & Alcántara, (2014) para la determinación de coliformes totales y fecales se procede de la siguiente manera:

Prueba presuntiva.

- Realizar 3 diluciones decimales de cada una de las muestras en agua peptona.
- Colocar 1 ml de cada dilución en tubos conteniendo caldo lauril triptosa e incubarlos a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 24 - 48 horas. En esta prueba presuntiva la actividad metabólica de las bacterias es estimulada vigorosamente y ocurre una selección inicial de organismos que fermentan la lactosa con producción de gas.
- La formación de gas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24 - 48 horas, constituye una prueba presuntiva positiva para la presencia de bacterias del Grupo Coliforme.

Prueba confirmativa de coliformes totales.

- Transferir todos los tubos positivos de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo lactosado verde brillante bilis e incubarlos durante 24 - 48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Esta prueba reduce la posibilidad de resultados falsos gas-positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de los organismos formadores de esporas. El caldo lactosado verde brillante bilis contiene agentes selectivos e inhibidores que suprimen el desarrollo de todos los organismos no coliformes.
- La producción de gas a 35°C después de las 24 - 48 horas constituye una prueba confirmativa positiva.

Prueba confirmativa de coliformes fecales.

- Transferir todos los tubos positivos de la prueba confirmativa de coliformes totales a tubos conteniendo caldo EC e incubarlos a $44^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 24 - 48 horas.

- Registrar como positivos todos los tubos en donde se observe crecimiento y producción de gas después de un período de incubación de 24 a 48 h (Gesche et al., 2003).

Para cuantificar los coliformes totales y fecales se comparan los tubos que dieron positivo en las dos pruebas confirmativas con la tabla del NMP para tres diluciones.

3.2.5 Metodología para la determinación de sólido totales suspendidos (STS).

Tabla 10. Materiales, reactivos y equipos para determinación de sólidos totales suspendidos.

Materiales	
Filtros (diámetro de 47mm)	Probeta de 1L
Fracos lavadores	Kitasatos de 500ml
Corchos	Mangueras
Platos de aluminio	Pinzas
Reactivos	
Agua ultrapura	
Equipos	
 <p style="text-align: center;"><i>Figura 9. Bomba de vacío Millipore.</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Figura 10. Equipo de Filtración.</i></p>

Fuente: Autora

En base a la metodología empleada por A. Hernández, (2007) se procedió de la siguiente manera:

- Armar correctamente el equipo de filtración, evitando las fugas de aire para que la filtración de las muestras sea más efectiva y de esta forma evitar que el agua de las muestras pueda dañar la bomba de vacío.
- Colocar los filtros en el equipo, lavarlos con agua ultrapura mientras el equipo está en funcionamiento y cuando se haya removido todo el exceso de agua del filtro, con la ayuda de las pinzas colocarlos en los platos de aluminio uno por plato, los platos de aluminio deben llevar un número escrito en la parte de atrás de su base para evitar confusiones durante la filtración.
- Para eliminar impurezas y pesos innecesarios colocar los filtros en la mufla a 500 °C por 30 minutos y luego pesarlos.
- Cada filtro nos servirá para filtrar una muestra, además en una hoja de registro se colocarán los siguientes datos: volumen de la muestra, hora y fecha recolección, número del plato de aluminio, el peso del filtro en conjunto con el plato de aluminio (denominado peso limpio) y el peso del filtro y el plato de aluminio más los sólidos obtenidos de la filtración (denominado peso sucio).
- Antes de proceder a colocar las muestras en el equipo deben ser agitadas.
- Una vez filtrada la muestra se desecha el filtrado y se coloca nuevamente el filtro con el sedimento en el mismo plato de aluminio en el que se pesó originalmente.
- Se deben colocar los platos de aluminio en una estufa a 105 °C por 24 horas.
- Después de las 24 horas se vuelve a pesar nuevamente cada uno de los platos de aluminio y se anota el resultado en la hoja de registro como peso sucio.
- Finalmente, cuando ya se han obtenido los valores de los pesos limpio y sucio se procede a determinar los STS en cada una de las muestras con la siguiente fórmula:

$$STS = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

STS: Sólidos Totales Suspendidos, en mg/L

A: Peso final del conjunto (filtro + plato de aluminio) con el residuo seco, en mg.

B: Peso inicial del conjunto (filtro + plato de aluminio), en mg.

V: Volumen de muestra filtrada, en mL.

3.3 Fase 3: Análisis.

Primero, se realizaron gráficas de variabilidad espacial y temporal con los datos obtenidos durante la fase de laboratorio en donde se determinó las cantidades de aerobios, coliformes totales y fecales presentes en las cuencas Dudas y Mazar, las cuales posteriormente serán analizadas e interpretadas.

Segundo, para alcanzar los dos últimos objetivos específicos se utilizó la metodología de estudios de caso (Muñoz, 1998), ya que se busca describir los datos obtenidos durante la fase de laboratorio y además establecer si existe algún tipo de relación significativa entre estos datos. Relación que va a ser determinada a través de la utilización de dos herramientas estadísticas: los diagramas de dispersión y el coeficiente de correlación de Pearson.

3.3.1 Variabilidad espacial y temporal

Con la ayuda del programa Excel se procedió a realizar las gráficas de la variabilidad espacial y temporal en el eje X y en el eje Y, de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales. Estas gráficas nos pueden ayudar a interpretar como se encuentra la calidad microbiológica de las

cuencas en el tiempo que duró el monitoreo, además nos permiten observar el comportamiento de los parámetros microbiológicos, si sufrieron alteraciones con el tiempo y las posibles causas que provocaron estas alteraciones.

3.3.2 Diagramas de dispersión.

Se procedió a establecer las variables, y se elaboraron los diagramas de dispersión con las variables respectivamente establecidas para cada objetivo específico.

En el caso del tercer objetivo específico se establecieron como variables los valores obtenidos de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales, y se evaluó la correlación de cada uno de estos parámetros microbiológicos con la cobertura vegetal de la zona de cada punto de muestreo.

Para el cumplimiento del cuarto objetivo se tomó en consideración los datos que se obtuvieron de sólidos totales suspendidos (STS) y los valores de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales y se estableció la correlación entre estas dos variables.

Una vez que se han definido las variables para el tercer y cuarto objetivo, con la ayuda del programa Excel se realizan los diagramas de dispersión en el eje X y en el eje Y.

Luego se debe observar la dispersión de los datos en los diagramas, para definir el tipo de correlación que existe entre las variables por ejemplo correlación lineal positiva o negativa, o si no tienen ningún tipo de correlación aparente.

3.3.3 Coeficiente de correlación lineal de Pearson.

Después de obtener los diagramas de dispersión y establecer el tipo de correlación que existe entre las variables, se procede a sacar el valor del coeficiente de correlación de Pearson (r) valor que oscila entre -1 y $+1$.

Con la ayuda del programa Excel 2016 para calcular el valor de r , se debe insertar una formula estadística denominada COEF.DE.CORREL y se señalan los valores de las variables independiente y dependiente que se utilizaron para realizar el diagrama de dispersión.

Cuanto más cerca esté el valor de r a 1 significa que la dependencia es más fuerte y aceptable, y si el valor de r está más cerca del cero significa que, aunque haya dependencia ésta no es aceptable.

Se tomó como criterio de aceptabilidad cuando el valor del coeficiente de correlación de Pearson $r \geq 0.5$ en el caso de una correlación positiva aceptable (Martínez, Tuya, Martínez, Pérez, & Cánovas, 2009).

CAPITULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Selección de los puntos de muestreo en las cuencas Dudas y Mazar.

Como se observa en las Tablas 11 y 12 se encuentran los puntos de muestreo seleccionados para el monitoreo, en donde se diferencian los del río Dudas con la letra D y los del río Mazar con la letra M, en las tablas también se puede visualizar en la segunda y tercera columna las coordenadas que corresponden a la latitud y longitud, en la cuarta columna se encuentra la elevación que corresponde a los metros sobre nivel del mar, la quinta columna muestra el área y la última columna nos informa del porcentaje de área cultivada.

Tabla 11. Coordenadas de los puntos de muestreo del río Dudas.

Punto de muestreo	LATITUD	LONGITUD	Elev_m²	Área del punto de muestreo (ha)	% de área cultivada
D1	-2.599946	-78.764109	3192.46	247	63.72%
D2	-2.59794447	-78.74849706	3116.75	57	62.37%
D3	-2.59832425	-78.73922252	2960.51	2082	50.85%
D4	-2.60103615	-78.73336033	2884	4410	26.74%
D5	-2.60198105	-78.73218693	2909.22	504	19.90%
D6	-2.6015984	-78.72908493	99999	78	20.00%
D7	-2.59664411	-78.72207381	2858.77	5141	26.55%
D8	-2.59715708	-78.72011142	2854.8	5147	26.56%
D9	-2.59695492	-78.71985784	2854.48	456	11.75%
D10	-2.59665807	-78.7112178	2858.83	348	11.07%
D11	-2.60772914	-78.68923078	2693.51	7321	26.15%
D12	-2.60754043	-78.68903104	2669.14	14	79.18%

Fuente: Autora

Tabla 12. Coordenadas de los puntos de muestreo del río Mazar.

Punto de muestreo	Latitud	Longitud	Elev_m²	Área del punto de muestreo (ha)	% de área cultivada
M1	-2.54594104	-78.69348535	2787.06	145	8.15%
M2	-2.54673294	-78.68788417	2712.95	148	39.65%
M3	-2.54727331	-78.6797265	2624.51	1861	19.33%
M4	-2.5402219	-78.67131258	2528.42	1916	21.64%
M5	-2.54148505	-78.67100769	2525.44	11291	8.22%
M6	-2.55342308	-78.67182761	2648.04	34	61.99%
M7	-2.56452167	-78.66940338	2651.29	15	77.49%
M8	-2.56588232	-78.67335715	2701.9	126	41.04%
M9	-2.57662708	-78.67247122	2538.1	705	19.50%
M10	-2.57675096	-78.67234904	2541.59	52	44.44%
M11	-2.58600713	-78.66240611	2490.31	443	50.22%

Fuente: Autora

De acuerdo con el estudio realizado por Carrillo & Urgilés, (2016) para determinar el índice de calidad del agua en los ríos Mazar y Pindilig establecieron 2 puntos de muestreo para el río Mazar y 3 para el Pindilig. Para establecer los puntos de monitoreo se basaron en las actividades antropogénicas que se desarrollan en las áreas de estudio, así como en el fácil acceso para la toma de muestras, además seleccionaron puntos estratégicos de la cuenca alta y baja del río Mazar, así como de los ríos Macas y Dudas que desembocan en el Pindilig, esto fue positivo ya que lograron evidenciar la afectación que se genera en la calidad del agua de los ríos por las actividades antropogénicas, en una extensión de área similar a la de este estudio.

Para el monitoreo de los ríos Dudas y Mazar se seleccionaron 23 puntos de muestreo abarcando un total de 42540 ha, en donde se consideró puntos de monitoreo no solo en el río principal sino también quebradas consideradas importantes por la cobertura vegetal, así como por

las actividades antropogénicas que se desarrollan en estos puntos. La selección de puntos de muestreo abarcó un número más extenso que los considerados en el estudio Carrillo y Urgilés, (2016), a pesar de que el área de estudio en los dos casos fue aparentemente la misma, debido a que se buscaba obtener mayor información sobre ciertas zonas puntuales en donde se desarrollan actividades antropogénicas que podrían estar afectando la calidad microbiológica de las cuencas Dudas y Mazar.

4.2 Obtención de los mapas de cobertura vegetal.

La información generada en las Tablas 11 y 12 es ingresada al Software ArcGIS y se obtuvieron mapas de las cuencas Dudas y Mazar.

En la Figura 11 se puede observar los puntos de muestreo para el río Dudas, así como la cobertura vegetal que afecta a cada uno de los puntos. Dentro de la cuenca del río Dudas se observa que existe una gran área cubierta por páramo y cultivos permanentes. La proporción de bosque nativo no es tan abundante, se pueden ver pequeñas zonas cubiertas por pastizales y vegetación arbustiva, en cuanto al área poblada es mínima.

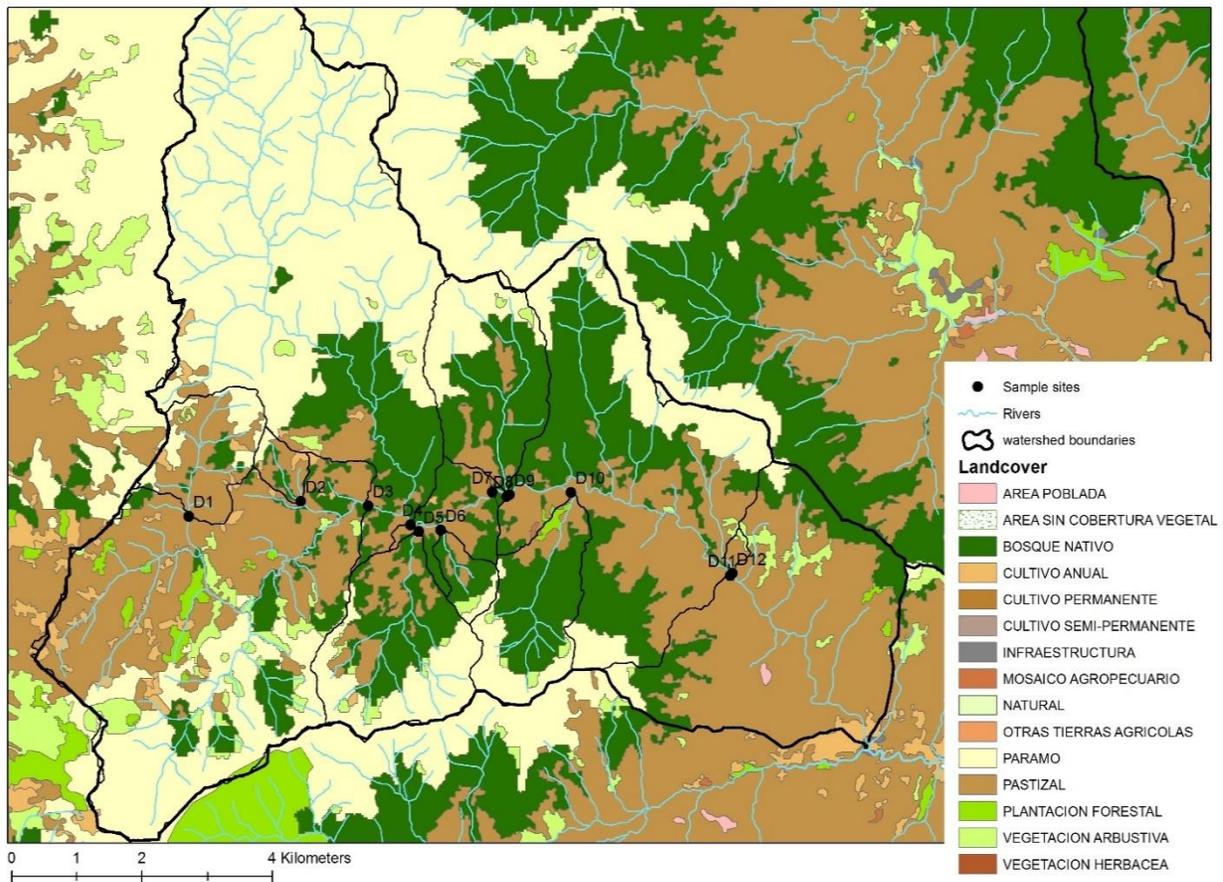


Figura 11. Ubicación de los puntos de muestreo del río Dudas y la cobertura vegetal que los afecta.

Elaborado por: Beberley C. Wemple.

En la Figura 12 se puede observar los puntos de muestreo para el río Mazar, así como la cobertura vegetal que afecta a cada uno de los puntos. En la cuenca del río Mazar se puede observar que gran parte de su área está cubierta principalmente por páramos y bosque nativo. Los puntos de muestreo se encuentran en zonas cubiertas por cultivos permanentes. Existen pequeñas áreas que se encuentran cubiertas por vegetación arbustiva y plantación forestal, además la presencia de área poblada es baja igual que en la cuenca del río Dudas.

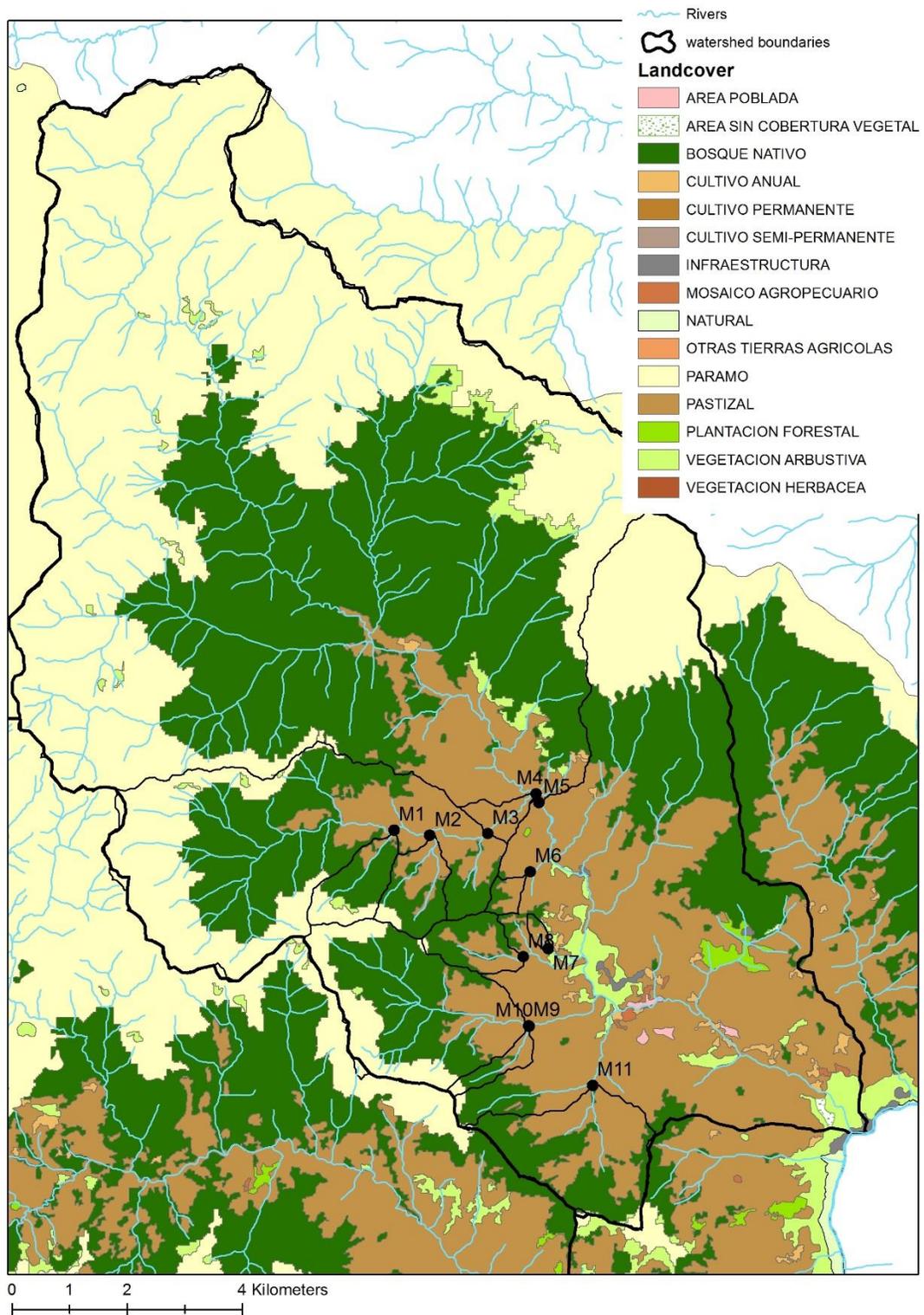


Figura 12. Ubicación de los puntos de muestreo del río Mazar y la cobertura vegetal que los afecta.

Elaborado por: Beberley C. Wemple.

En el trabajo elaborado por Salgado et al., (2007) sobre la Caracterización de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca alta del río Mazar, Provincia Cañar – Ecuador, se destacó que la cobertura de vegetación dominante del paisaje es el páramo herbáceo con un 31% y le sigue el bosque neblina montano con un 15 %, además se pudo observar la cuenca del río Dudas en donde existe también el páramo como vegetación dominante y existen amplias zonas cubiertas de pastizales y bosque neblina montano intervenido.

Actualmente en las cuencas Dudas y Mazar existe un porcentaje similar de área cultivada con un 35,40% en el río Dudas y un 35,60% en el río Mazar, lo que evidencia un cambio significativo con el estudio realizado por Salgado et al., (2007) en el cual se determinó que la cobertura vegetal dominante de la cuenca alta del río Mazar era el páramo herbáceo con un porcentaje del 31%.

4.3 Resultados de la medición de la temperatura.

En la Tabla 13 se observan los valores de la temperatura obtenidos de cada uno de los puntos de muestreo durante los cuatro meses de monitoreo y en la última fila de la tabla tenemos el promedio para la temperatura en cada uno de puntos, en la cuenca del río Dudas las temperaturas más elevadas fueron detectadas en los puntos D1, D6 y D12. Por otro lado, en el río Mazar las temperaturas más elevadas fueron en los puntos M6 y M7. El porcentaje de área cultivada en los puntos mencionados anteriormente es elevado excepto en el punto D6 ver Tablas 11 y 12, lo que posiblemente nos indicaría que la cobertura vegetal puede influir en la elevación de la temperatura.

Purves, (2002), señaló que en los lugares que no son sombreados las radiaciones del sol influyen mayormente sobre la temperatura del agua que la del aire, además resalta que la presencia

de vegetación reduce la velocidad del viento lo que puede afectar en el flujo de calor y como resultado de esto el microclima en la superficie del agua se ve alterado.

Tabla 13. Resultados de la temperatura en las cuencas Dudas (D) y Mazar (M).

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
D1	15	14	13	14	15	14	14.1666667
D2	14	13	12	13	14	13	13.1666667
D3	12	15	12	9	15	15	13
D4	12	13	12	13	12	13	12.5
D5	12	13	11	13	13	14	12.6666667
D6	12	15	14	15	13	14	13.8333333
D7	11	13	11	13	12	12	12
D8	11	13	11	11	11	12	11.5
D9	11	12	10	11	11	12	11.1666667
D10	12	13	12	13	12	12	12.3333333
D11	12	13	12	13	12	13	12.5
D12	14	14	13	14	14	15	14
M1	12	13	12	12	13	14	12.6666667
M2	14	14	14	12	14	15	13.8333333
M3	12	13	13	11	12	13	12.3333333
M4	12	15	15	11	12	15	13.3333333
M5	13	15	14	11	13	15	13.5
M6	14	16	16	14	15	16	15.1666667
M7	16	16	17	14	16	16	15.8333333
M8	13	14	14	13	13	15	13.6666667
M9	14	14	15	12	14	14	13.8333333
M10	15	15	16	13	14	15	14.6666667
M11	14	16	15	13	14	14	14.3333333

Fuente: Autora

De acuerdo con Gil, (2014) la temperatura está relacionada con la elevación sobre el nivel del mar y con la época en la que se realiza el muestreo, en su estudio realizado para evaluar la calidad del agua del río Garagoa en Colombia, las temperaturas más altas se presentaron en la época de sequía y en el punto más bajo de la cuenca. Registró con un valor de 23 °C la temperatura

más alta y con 16 °C la temperatura más baja en época de lluvias, se debe destacar que los puntos de muestreo establecidos se encontraban a una elevación por debajo de 2100 msnm.

Para el monitoreo de los ríos Dudas y Mazar realizado en época de lluvias, se registró una temperatura máxima de 16 °C y una mínima de 9 °C y todos los puntos de muestreo se encontraban localizados a una altura superior a los 2500 msnm.

4.4 Resultados de la medición del pH.

Como se puede observar en la Tabla 14 se tienen los valores obtenidos de la medición del pH durante el periodo de monitoreo, en donde el valor mínimo de pH que se detectó fue de 5 en el punto D4 del río Dudas, lugar en el que se presentaron varios deslaves provocados por fuertes precipitaciones y el valor máximo de 7.9 se detectó en los puntos M5 y M11 del río Mazar.

Tabla 14. Resultados de la medición del pH en las cuencas Dudas (D) y Mazar (M).

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
D1	7.3	7	6.7	7.1	6.5	7.4	7
D2	6.9	7.3	6.8	7	7.4	7.6	7.16666667
D3	7	6.7	6.9	7.2	7.1	7.5	7.06666667
D4	7.2	7.1	6.5	7.5	5	7.7	6.83333333
D5	7.4	7.5	7.1	7.6	7.2	7.8	7.43333333
D6	7.1	7.3	6.9	7.4	7.3	7.8	7.3
D7	7	6.9	7.2	7.1	6.9	7.7	7.13333333
D8	7.2	7.4	6.9	7.6	7.1	7.8	7.33333333
D9	7.3	7.1	7	7.5	6.9	7.5	7.21666667
D10	7	7.3	7.1	7	6.9	7.5	7.13333333
D11	7.4	7.6	7.2	7.5	6.9	7.7	7.38333333
D12	7.2	7	6.9	7	7.1	7.3	7.08333333
M1	7	7.3	7	7.5	7.1	7.6	7.25
M2	7.1	7.5	7.2	7.7	7.3	7.8	7.43333333
M3	7.4	7.2	7	7.6	7.2	7.8	7.36666667
M4	7.3	7.1	6.9	7.3	7.1	7.8	7.25
M5	7.3	7.5	6.8	7.7	6.7	7.9	7.31666667
M6	7.2	7	7.1	7.5	7.3	7.7	7.3
M7	7.1	7.4	7	7.6	7	7.8	7.31666667
M8	7.3	7.5	7.1	7.6	7.2	7.8	7.41666667
M9	7.3	7.2	7	7.3	7.1	7.8	7.28333333
M10	7	7.1	7	7.3	7.2	7.4	7.16666667
M11	7.2	7.4	7	7.7	7.2	7.9	7.4

Fuente: Autora

En la normativa de la TULSMA, (2002) se establece que el rango óptimo del pH para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas es de 5-9, pero si el agua va a ser empleada para el uso agrícola el pH óptimo será de 6-9. Por lo tanto, de acuerdo a esta norma los valores de pH de las cuencas Dudas y Mazar se encuentran dentro de los rangos establecidos.

De acuerdo con Gil, (2014) en su trabajo realizado para evaluar la calidad del agua del río Garagoa en Colombia, los valores de pH fueron similares en todas las estaciones de muestreo, presentándose valores más elevados en la época de sequía, pero en general los valores siempre estuvieron cerca de la neutralidad, además el pH disminuía pero no significativamente en épocas de lluvias.

En las cuencas del río Dudas y Mazar los valores del pH también fueron similares en todos los puntos de monitoreo, y muy cercanos de la neutralidad y tendían a elevarse en las fechas de muestreo en las que no se presentaban precipitaciones, pero no significativamente.

4.5 Resultados de Sólidos Totales Suspendedos (STS) en los ríos Dudas y Mazar.

En la Tabla 15 se puede observar los valores correspondientes a los STS, en donde se detectaron valores bastante altos para el monitoreo realizado el 13 de junio en los puntos D3 y D4 en el río Dudas y para el río Mazar en el punto M5. En M11 se determinó un valor de STS ligeramente elevado con respecto a los puntos de muestreo restantes.

Tabla 15. Resultados de los STS en las cuencas Dudas (D) y Mazar (M).

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
D1	2.9	24.8	18.9	19.1	413.0	9.7	81.4
D2	20.0	25.1	12.6	41.9	22.3	11.7	22.3
D3	6.7	7.8	22.7	28.2	3052.0	658.0	629.2
D4	6.6	4.6	19.1	12.3	2024.3	7.8	345.8
D5	8.5	12.7	24.7	12.0	106.3	8.6	28.8
D6	11.6	10.3	21.3	27.4	211.4	15.1	49.5
D7	5.7	8.2	105.0	3.4	188.9	7.0	53.0
D8	35.8	86.0	11.5	35.5	123.1	11.7	50.6
D9	4.4	6.7	2.7	7.2	60.4	4.5	14.3
D10	2.5	16.1	16.1	45.9	95.2	11.0	31.1
D11	5.5	5.5	51.3	2.9	254.9	5.2	54.2
D12	6.7	10.9	12.1	23.6	35.9	4.2	15.6
M1	119.9	26.7	21.7	12.9	52.6	12.8	41.1
M2	25.2	32.4	41.8	18.1	55.4	22.2	32.5
M3	29.5	15.9	16.4	14.3	279.5	14.4	61.7
M4	43.5	22.5	18.2	12.0	264.4	3.3	60.6
M5	79.9	114.0	432.2	18.3	5839.9	62.1	1091.1
M6	76.8	65.2	72.1	51.5	119.8	195.3	96.8
M7	312.3	71.1	94.4	43.7	99.3	97.3	119.7
M8	18.9	21.0	12.7	41.3	88.7	15.5	33.0
M9	23.1	8.2	35.5	137.2	481.2	4.0	114.9
M10	1.2	20.7	23.3	226.6	75.6	14.8	60.4
M11	18.7	19.0	46.3	11.8	520.5	19.9	106.0

Fuente: Autora

En la normativa de la TULSMA, (2002) se establecen los límites máximos permisibles (LMP) para los STS en tres categorías; en el caso de aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional el LMP es de 1000 mg/L, para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección el LMP es de 500 mg/L y para aguas de uso agrícola el LMP es de 3000 mg/L. Si se observa la Tabla 14 se puede ver que en los puntos de muestreo D3, D4, M6 y M11 incumplen los LMP en por lo menos una de las categorías mencionadas. Además, se puede ver que todos los valores elevados corresponden al

monitoreo del 13 de junio en donde se presentaron fuertes precipitaciones en los días previos a la toma de muestras, factor por el cual se incrementan los materiales de arrastre, tal como se sugiere en el estudio “Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa” de Gil, (2014).

De acuerdo con Tshibanda et al., (2014) los sedimentos pueden acumular una gran cantidad de contaminantes y organismos patógenos entre estos se destacan aquellas bacterias que son indicadores de contaminación fecal, consideradas de riesgo alto para la salud de las personas, por lo tanto, el sedimento representa un importante parámetro para la evaluación de la contaminación de los ríos.

4.6 Determinación de los niveles de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales.

Después de la recolección y el procesamiento de las muestras en el laboratorio se determina la cantidad de aerobios, coliformes totales y coliformes fecales presentes en las muestras.

4.6.1 Determinación de aerobios.

Como se puede observar en la Tabla 16 la cantidad de aerobios detectados en algunos puntos de muestreo del río Dudas, superan las 1000 UFC/ml. Especialmente en el monitoreo del 16 de mayo en donde se detectaron los niveles más altos de aerobios en los puntos D1, D2, D9 y D10; y en el monitoreo del 13 de junio se detectaron valores relativamente altos de aerobios en los puntos D8 y D11 que superan las 100 UFC/ml.

En el caso de la cuenca del río Mazar en los monitoreos del 30 de mayo y 13 de junio es en donde se detectaron los niveles más altos de aerobios en los puntos M2 y M7 respectivamente;

y se detectaron valores relativamente altos de aerobios que superan las 100 UFC/ml en los puntos M9 y M6 en los monitoreos del 15 de marzo y 13 de junio respectivamente.

Tabla 16. Cantidad de aerobios en las cuencas Dudas y Mazar.

Punto de muestreo	15-Mar	25-Abr	16-May	30-May	13-Jun	27-Jun	Promedio
DUDAS							
D1	2	8	1000	14	66	8	183
D2	0	3	1200	5	31	2	206.8333333
D3	1	6	9	2	45	2	10.83333333
D4	81	0	8	3	18	1	18.5
D5	80	1	1	6	7	2	16.16666667
D6	0	71	4	4	4	1	14
D7	8	1	5	12	90	2	19.66666667
D8	4	3	5	3	105	8	21.33333333
D9	3	0	1360	4	3	8	229.6666667
D10	2	3	1260	15	7	7	215.6666667
D11	5	12	9	28	120	13	31.16666667
D12	14	12	3	20	53	19	20.16666667
MAZAR							
M1	4	1	11	48	18	2	14
M2	6	15	75	840	12	10	159.6666667
M3	20	0	10	11	30	0	11.83333333
M4	6	0	2	22	48	2	13.33333333
M5	5	0	3	2	6	0	2.666666667
M6	10	7	18	30	120	10	32.5
M7	5	8	21	17	360	6	69.5
M8	2	6	1	1	56	1	11.16666667
M9	108	1	10	11	7	2	23.16666667
M10	5	3	6	13	28	1	9.333333333
M11	13	8	16	9	94	7	24.5

Fuente: Autora

Los valores de aerobios superiores a las 1000 UFC/ml detectados sobretodo en el río Dudas para el mes de mayo en donde se presentaron fuertes precipitaciones y se determinó que el valor máximo de aerobios cuantificados fue 1360 UFC/ml y el mínimo de 0 UFC/ml, son muy similares a la cantidad de aerobios presentes en el estudio “Evaluación de la calidad microbiológica y niveles

de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela” de Gil Marín et al., (2013) en donde observaron que los valores de aerobios empiezan a ser críticos a partir del mes de Mayo, comienzo de las lluvias, con valores promedios de 486,00; 315,71 y 1708,86 UFC/100mL de agua, para los meses de Mayo, Junio y Julio respectivamente, además encontraron un valor máximo de 4,650 y un valor mínimo 1 UFC/100mL.

4.6.1.1 Variabilidad espacial y temporal de Aerobios.

Subcuenca del río Dudas.

La cantidad de aerobios detectados a lo largo de la cuenca del río Dudas presenta una variación espacial y temporal que se puede evidenciar en la Figura 13 donde se puede observar que el monitoreo del 16 de mayo detectó los niveles más altos de aerobios, sin embargo, en los meses de marzo y abril en los puntos D2, D6 y D4, D9 respectivamente, no se detectó aerobios en estos puntos de muestreo.

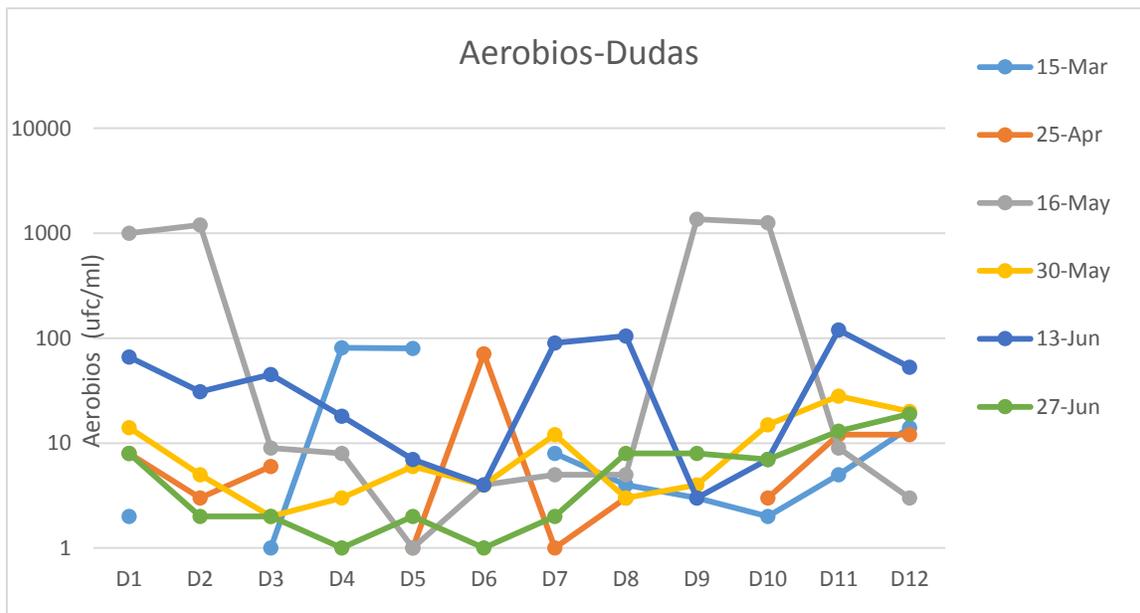


Figura 13. Variación temporal y espacial de Aerobios en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca de río Mazar.

La cantidad de aerobios detectados a lo largo de la cuenca del río Mazar presenta una variación espacial y temporal que se puede evidenciar en la Figura 14 donde se puede observar que el monitoreo del 30 de mayo y 13 de junio se detectó los niveles más altos de aerobios en los puntos M2 y M7 respectivamente, mientras que en los meses de abril y junio 27 en los puntos M3, M4, M5 y M3, M5 respectivamente, no se detectó aerobios en estos puntos de muestreo.

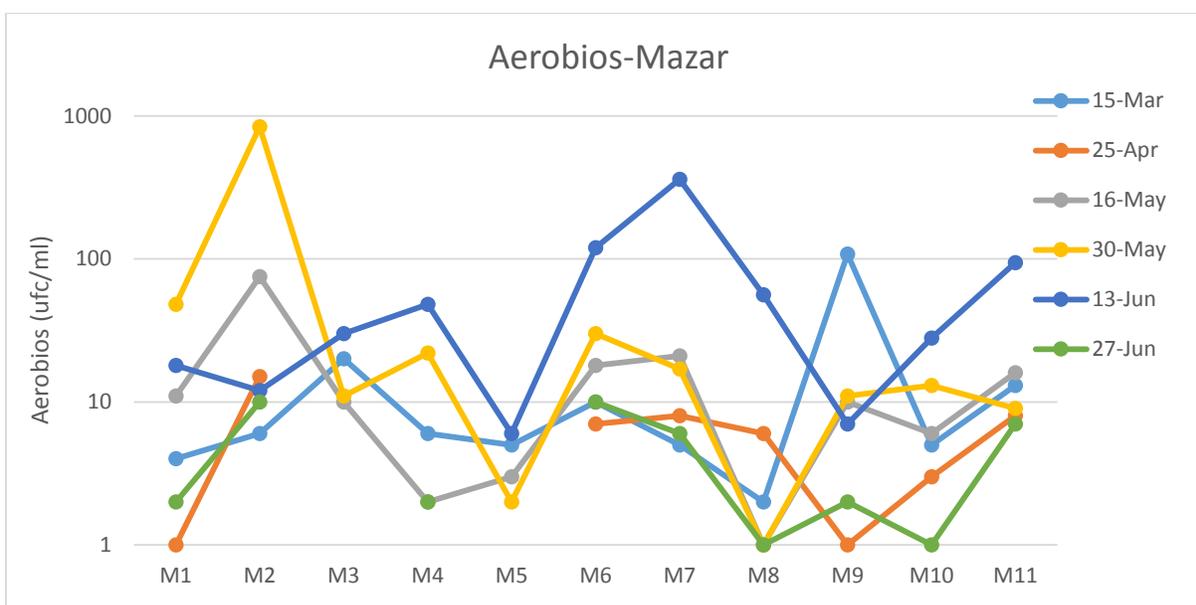


Figura 14. Variación temporal y espacial de Aerobios en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.6.2 Determinación de coliformes totales.

En la Tabla 11 y 12 se puede observar los puntos de muestreo seleccionados para la determinación de aerobios de los ríos Dudas y Mazar, de estos se seleccionaron los puntos D1, D4 y D11 del río Dudas y M3, M7 y M10 del río Mazar para la determinación de coliformes totales y fecales.

En la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2002), se establecen los límites máximos permisibles (LMP) de coliformes totales para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional; límite que es de 3000 nmp/100 ml.

En la Tabla 17 se puede observar la cantidad de coliformes totales presentes en los monitoreos realizados en los tres puntos de muestreo seleccionados en la cuenca alta, media y baja del río Dudas, donde se evidencia que únicamente en el muestreo del 13 de junio el punto D11 sobrepasó el LMP establecido en la TULSMA, (2002), el resto de puntos se encontraron dentro de los límites permisibles.

Tabla 17. Coliformes totales presentes en la cuenca del río Dudas.

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
D1	40	40	750	70	2400	390	615
D4	40	90	750	90	1500	150	436.666667
D11	90	930	430	930	4600	1500	1413.33333

Fuente: Autora

En la Tabla 18 se puede observar la cantidad de coliformes totales presentes en los monitoreos realizados en los tres puntos de muestreo seleccionados en la cuenca alta, media y baja del río Mazar, donde se evidencia que únicamente en el muestreo del 16 de mayo el punto M7 sobrepasó el LMP establecido en la TULSMA, (2002), el resto de puntos se encontraron dentro de los límites permisibles.

Tabla 18. Coliformes totales presentes en la cuenca del río Mazar.

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
M3	930	90	430	750	1500	70	628.333333
M7	40	430	4600	1200	750	430	1241.66667
M10	70	90	1500	2400	1200	70	888.333333

Fuente: Autora

En la TULSMA, (2002) también se establece dos criterios más sobre el LMP de coliformes totales; en el caso de aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección, este límite es de 50 nmp/100ml, de acuerdo a en la mayoría de los muestreos realizados en los ríos Dudas y Mazar los valores de coliformes totales presentes exceden este LMP. Los criterios para aguas de uso agrícola establecen que 1000 nmp/100ml es el LMP para la presencia de coliformes totales, detectándose niveles que sobrepasan este límite en D1, D4 y D11 en el monitoreo del 13 de junio y para D11 en el muestreo del 27 de junio también en el caso del río Dudas. Para el río Mazar se cuantificaron valores por encima del LMP en el monitoreo del 16 y 30 de mayo en los puntos M7 y M10, también en M3 y M10 en el muestreo del 13 de junio.

Gil Marín et al., (2013) en su estudio “Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela” determinaron niveles elevados de coliformes totales que excedían los LMP en su país teniendo un valor máximo de 11000 NMP/100ml y un mínimo de 0 NMP/100ml, además en el mes de mayo época en el que iniciaron las lluvias se presentaron los valores más críticos de coliformes fecales. Si bien en el presente estudio también existieron cantidades de coliformes totales que excedían los LMP de la normativa vigente el valor máximo que se tuvo fue de 4600 NMP/100ml y el valor mínimo fue de 40 NMP/100ml, sin embargo, los valores críticos de coliformes totales se presentaron de igual forma que en el estudio mencionado anteriormente, en las fechas en las que se presentaron fuertes

precipitaciones. Se debe resaltar que si se consume agua contaminada por coliformes existe el riesgo de contraer enfermedades perjudiciales para la salud (USEPA, 1986)

4.6.2.1 Variabilidad espacial y temporal de coliformes totales.

Subcuenca del río Dudas.

En la Figura 15 se puede observar la variación espacial y temporal de las muestras tomadas en la cuenca alta, media y baja del río Dudas, en el monitoreo del 13 de junio los niveles de coliformes aumentaron notoriamente, en los días previos a la toma de muestras hubo fuertes precipitaciones de igual forma el día del muestreo hubo presencia de lluvias, sin embargo, solo el punto D11 sobrepasa los LMP.

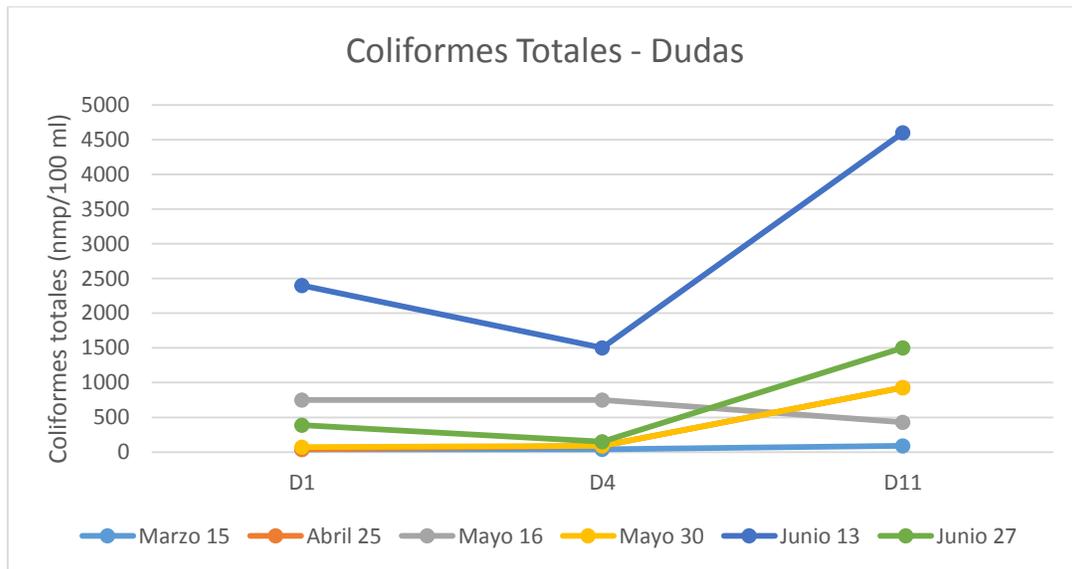


Figura 15. Variación temporal y espacial de coliformes totales en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

La variación espacial y temporal de las cuencas alta, media y baja del río Mazar se puede observar en la Figura 16, donde se evidencia que en el monitoreo del 16 de mayo para el punto M7 tuvo el valor más alto de coliformes, se debe considerar que los días previos al monitoreo hubo precipitaciones considerablemente fuertes.

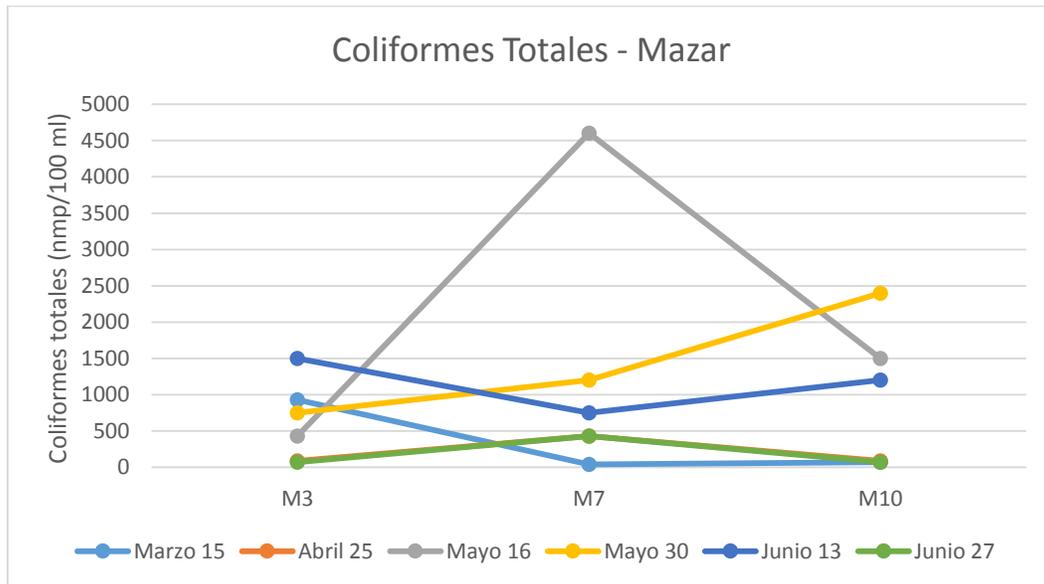


Figura 16. Variación temporal y espacial de coliformes totales en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.6.3 Determinación de coliformes fecales.

En la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2002), se establecen los límites máximos permisibles (LMP) de coliformes fecales para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional; límite que es de 600 nmp/100 ml.

En la Tabla 19 se puede observar la cantidad de coliformes fecales presentes en los monitoreos realizados en los tres puntos de muestreo seleccionados en la cuenca alta, media y baja del río Dudas, donde se evidencia en los muestreos del 25 de abril y 27 de junio el punto D11 sobrepasó el LMP, de igual manera en el monitoreo del 13 de junio los tres puntos D1, D4 y D11 sobrepasaron el LMP establecido en la TULSMA, (2002).

Tabla 19. Coliformes fecales presentes en la cuenca del río Dudas.

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
D1	40	40	200	40	930	230	246.667
D4	29	40	430	90	750	90	238.167
D11	90	930	150	430	1500	750	641.667

Fuente: Autora

En la Tabla 20 se puede observar la cantidad de coliformes fecales presentes en los monitoreos realizados en los tres puntos de muestreo seleccionados en la cuenca alta, media y baja del río Mazar, donde se evidencia que el punto M3 sobrepasa el LMP en el monitoreo del 15 de marzo, M7 por otro lado sobrepasa el LMP el 16 de mayo y en el muestreo del 13 de junio los tres puntos M3, M7 y M10 sobrepasan el LMP establecido en la TULSMA, (2002).

Tabla 20. Coliformes fecales presentes en la cuenca del río Mazar.

Punto de muestreo	Marzo 15	Abril 25	Mayo 16	Mayo 30	Junio 13	Junio 27	Promedio
M3	930	40	430	200	930	40	428.333
M7	40	150	1500	390	750	230	510
M10	40	90	280	230	640	30	218.333

Fuente: Autora

En la TULSMA, (2002) también se establece otro criterio para el LMP de coliformes fecales para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario, este límite es de 200 nmp/100ml. En este caso en la mayor parte de puntos de

muestreo la cantidad de coliformes fecales cuantificados en los ríos Dudas y Mazar excedieron este LMP.

En el monitoreo de los ríos Dudas y Mazar los niveles detectados de coliformes fecales excedieron el LMP establecido en las normativas vigentes, obteniéndose como valor máximo 1500 nmp/100ml y el valor mínimo fue 30 nmp/100ml, presentándose los valores más críticos en las fechas que se registraron fuertes precipitaciones. Lo mismo fue observado por Gil Marín et al., (2013), durante la presencia de precipitaciones se presentaban los valores más críticos de coliformes fecales, ellos registraron sin embargo un valor máximo de 11000 nmp/100ml valor que sobrepasa en casi un 500% al máximo valor permisible por la normativa vigente en Venezuela y un valor mínimo de 0 nmp/100ml de coliformes fecales. Por lo tanto, se evidencia que existe una contaminación importante con bacterias de origen fecal no solo en el Ecuador sino en varios países en donde incluso la contaminación es más severa, generando preocupación sobre todo en el sector de la salud por las enfermedades que se pueden presentar por consumir aguas contaminadas con microorganismos patógenos.

4.6.3.1 Variabilidad espacial y temporal de coliformes fecales.

Subcuenca del río Dudas.

En la Figura 17 se puede observar la variación espacial y temporal de las muestras tomadas en la cuenca alta, media y baja del río Dudas, en el monitoreo del 13 de junio los niveles de coliformes fecales se incrementaron notablemente en comparación con los otros muestreos, en los tres puntos D1, D4 y D11 los niveles de coliformes fecales exceden el LMP de 600 nmp/100 ml. Pero el punto D11 es el que en más ocasiones presenta contaminación con coliformes fecales el 25

de abril y el 27 de junio. En los días previos a los muestreos de estas fechas hubo fuertes precipitaciones de igual forma el día 13 de junio hubo presencia de lluvias

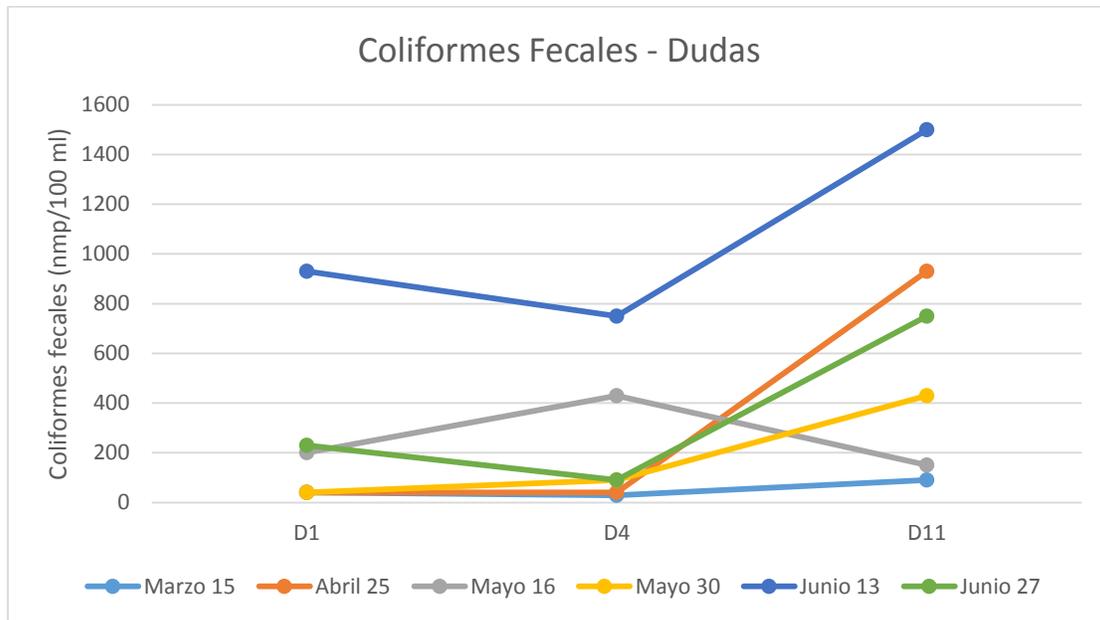


Figura 17. Variación temporal y espacial de coliformes fecales en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

La variación espacial y temporal de las cuencas alta, media y baja del río Mazar se puede observar en la Figura 18, donde se evidencia que en el monitoreo del 13 de junio para los tres puntos de muestreo M3, M7 y M10 la cantidad de coliformes fecales superaron los LMP, además para el muestreo del 16 de mayo M7 tuvo presencia muy elevada de coliformes fecales, se debe considerar que los días previos a los monitoreos de estas fechas hubo precipitaciones considerablemente fuertes.

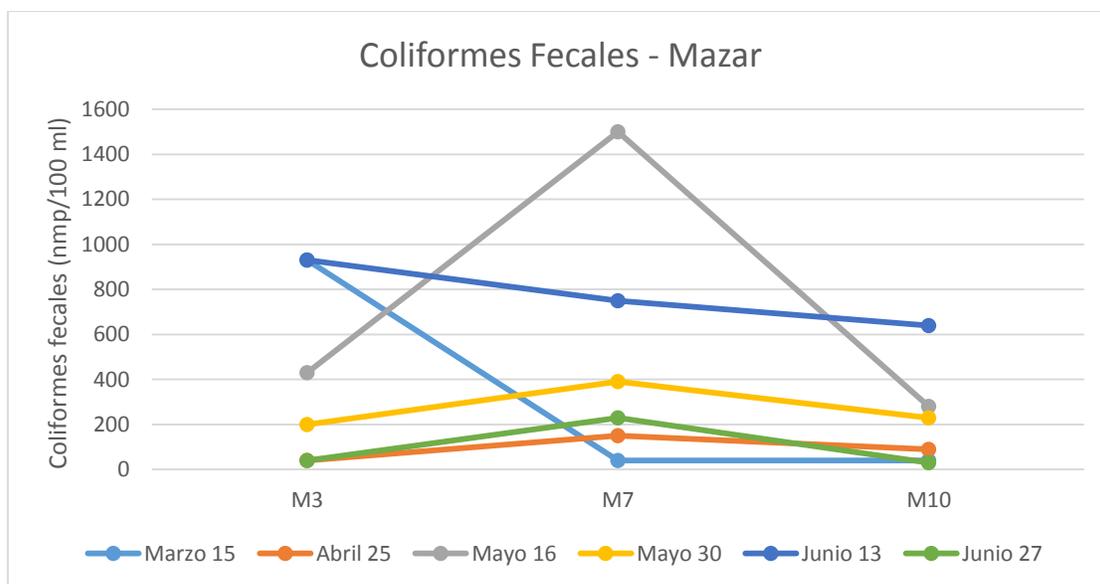


Figura 18. Variación temporal y espacial de coliformes fecales en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.7 Correlación entre la densidad microbiana y la cobertura vegetal del área de estudio.

4.7.1 Correlación entre la cantidad de aerobios y el porcentaje de área cultivada en las cuencas de estudio.

Subcuenca del río Dudas.

Como se puede observar en la Figura 19 la cantidad de aerobios presentes en el río Dudas no tiene correlación positiva ni negativa con el porcentaje de área cultivada de esta cuenca. Se obtuvo el valor de r (coeficiente de correlación de Pearson) que fue $r = -0.00643$. Como el valor de r está muy cercano a 0 entonces no existe ninguna relación lineal entre las variables.

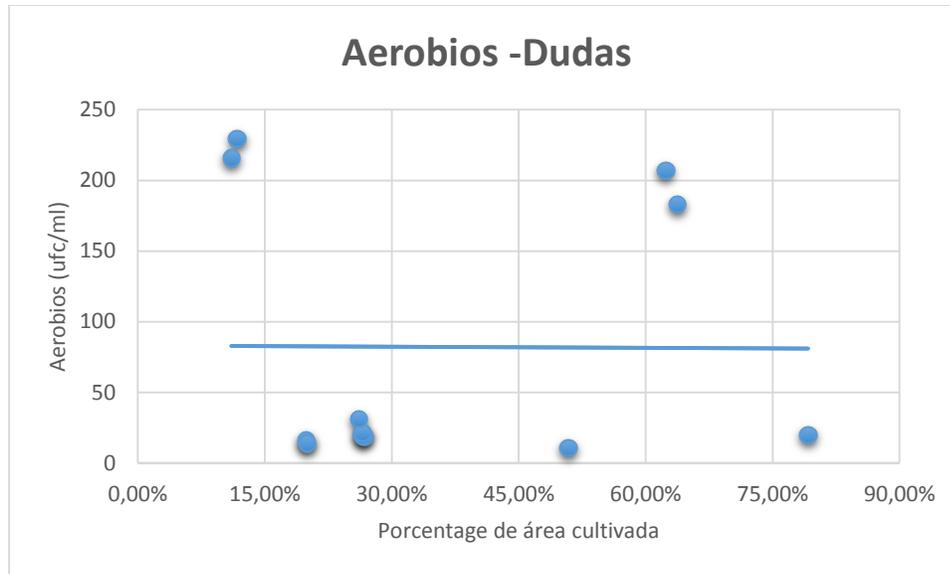


Figura 19. Correlación entre la cantidad de aerobios y el porcentaje de área cultivada en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

En la Figura 20 se observa que la cantidad de aerobios presentes en el río Mazar parece tener una correlación positiva con el porcentaje de área cultivada de esta cuenca, pero esta correlación no es aceptable ya que su coeficiente de correlación fue de $r = 0.365$ por lo que su correlación sería mínima. Como el valor de r es demasiado bajo entonces la relación lineal entre las variables no es aceptable.

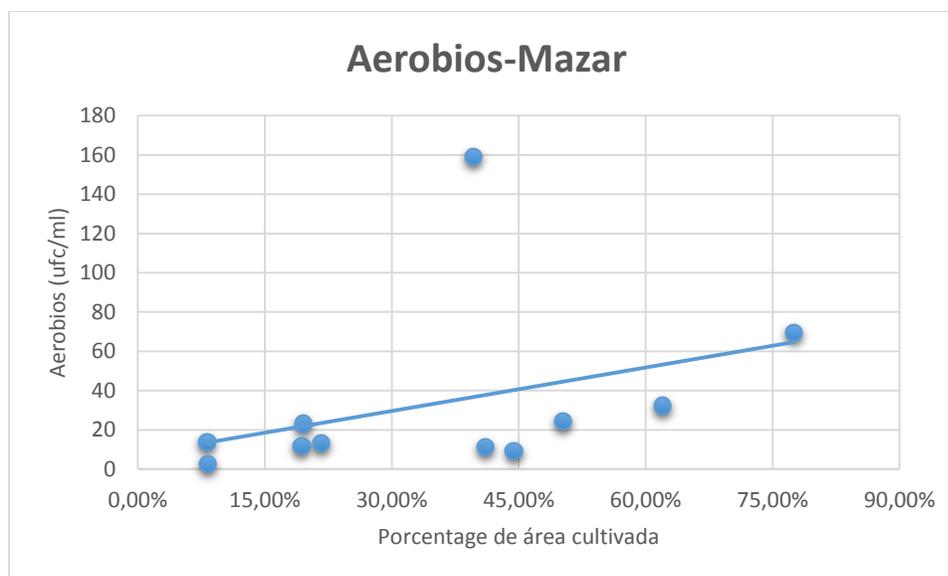


Figura 20. Correlación entre la cantidad de aerobios y el porcentaje de área cultivada en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.7.2 Correlación entre la cantidad de coliformes totales y el porcentaje de área cultivada en las cuencas de estudio.

Subcuenca del río Dudas.

En la Figura 21 se puede observar que la cantidad de coliformes totales presentes en el río Dudas parece tener una correlación negativa con el porcentaje de área cultivada de esta cuenca, pero esta correlación no es aceptable ya que su coeficiente de correlación fue de $r = -0.3571$ por lo que su correlación sería mínima. Como el valor de r es demasiado bajo y es negativo entonces la relación lineal entre las variables no es aceptable.

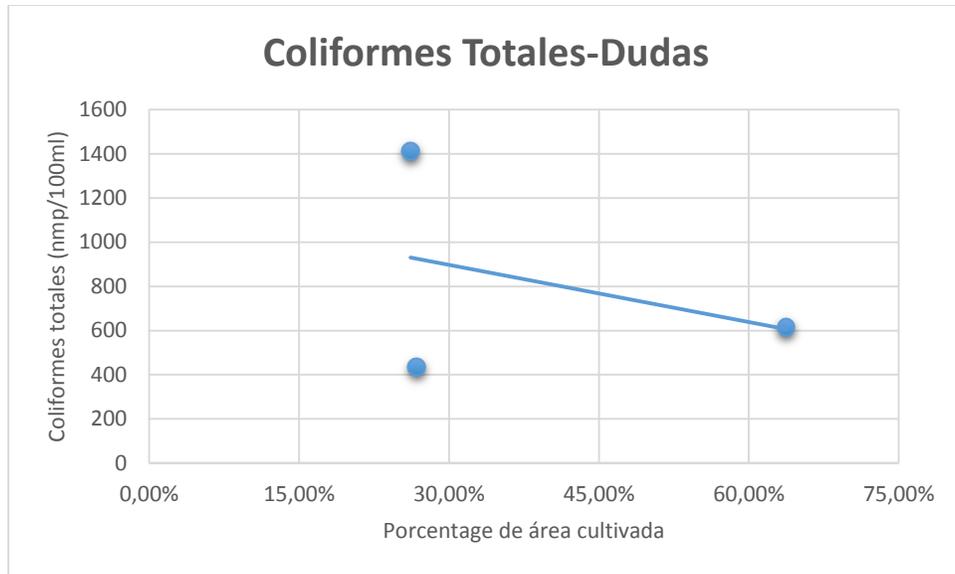


Figura 21. Correlación entre la cantidad coliformes totales y el porcentaje de área cultivada en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

Como se observa en la Figura 22 la cantidad de coliformes totales presentes en el río Mazar tienen una correlación positiva muy aceptable con el porcentaje de área cultivada de esta cuenca, ya que su coeficiente de correlación fue de $r = 0.99996$. Teniendo en consideración que una correlación lineal perfecta es igual 1, la correlación entre estas variables es muy aceptable.

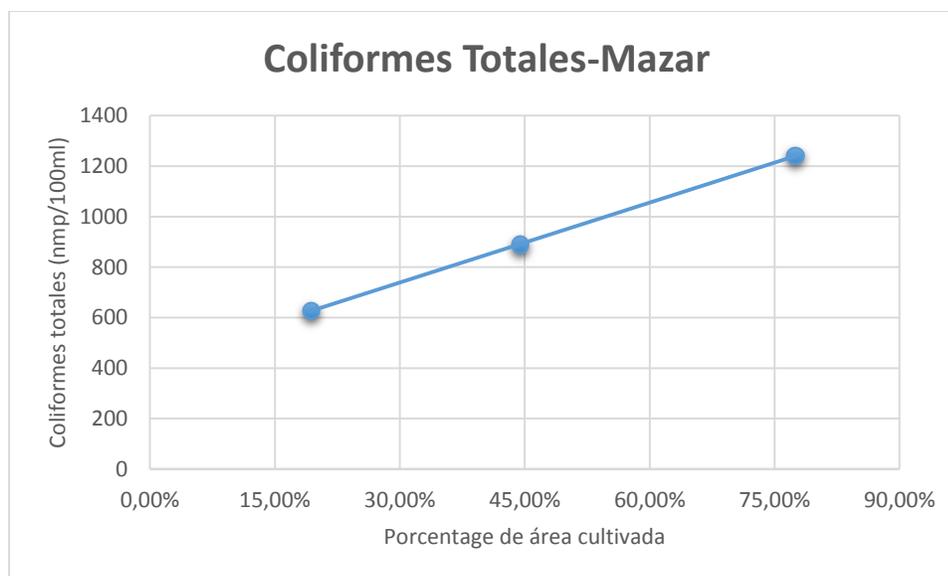


Figura 22. Correlación entre la cantidad coliformes totales y el porcentaje de área cultivada en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.7.3 Correlación entre la cantidad de coliformes fecales y el porcentaje de área cultivada en las cuencas de estudio.

Subcuenca del río Dudas.

En la Figura 23 se puede observar que la cantidad de coliformes fecales presentes en el río Dudas parece tener una correlación negativa con el porcentaje de área cultivada de esta cuenca, pero esta correlación no es aceptable ya que su coeficiente de correlación fue de $r = -0.4959$. Como el valor de r es bajo y además negativo entonces la relación lineal entre las variables no es aceptable.

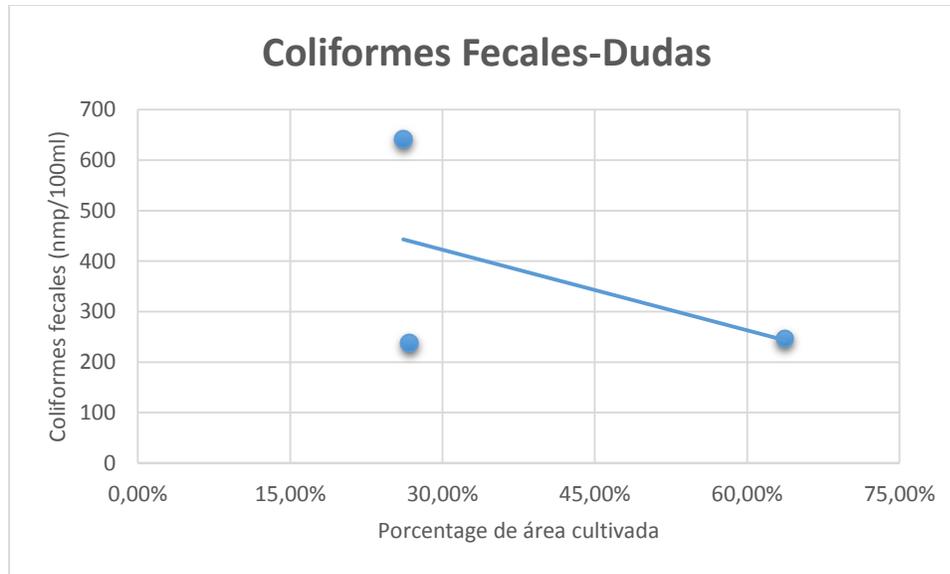


Figura 23. Correlación entre la cantidad coliformes fecales y el porcentaje de área cultivada en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

Como se observa en la Figura 24 la cantidad de coliformes fecales presentes en el río Mazar parece tener una correlación positiva con el porcentaje de área cultivada de esta cuenca, pero esta correlación no es aceptable ya que su coeficiente de correlación fue de $r = 0.3461$. Como el valor de r es demasiado bajo entonces la relación lineal entre las variables no es aceptable.

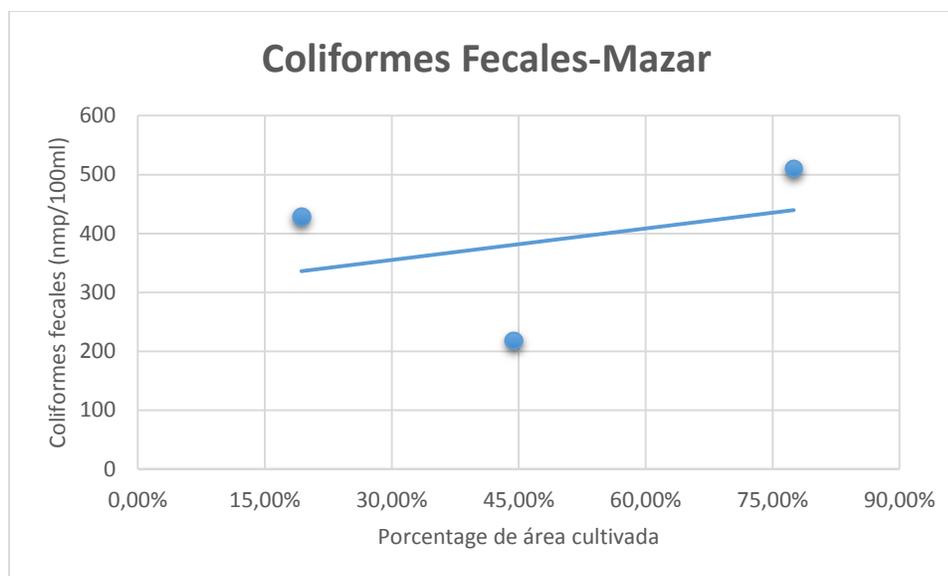


Figura 24. Correlación entre la cantidad coliformes fecales y el porcentaje de área cultivada en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.8 Comparación de la concentración de sólidos totales suspendidos (STS) y la densidad microbiana presente en las cuencas Dudas y Mazar.

4.8.1 Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de aerobios presentes en las cuencas de estudio.

Subcuenca del río Dudas.

De acuerdo a la línea de tendencia que se observa en la Figura 25 la concentración de STS presentes en el río Dudas al parecer poseen una correlación negativa con la cantidad de aerobios presentes de esta cuenca, sin embargo, al determinar el coeficiente de correlación de Pearson que fue de $r = -0.3395$ es evidente que la correlación entre las variables no es aceptable ya que no está dentro del criterio de aceptabilidad de 0.5.

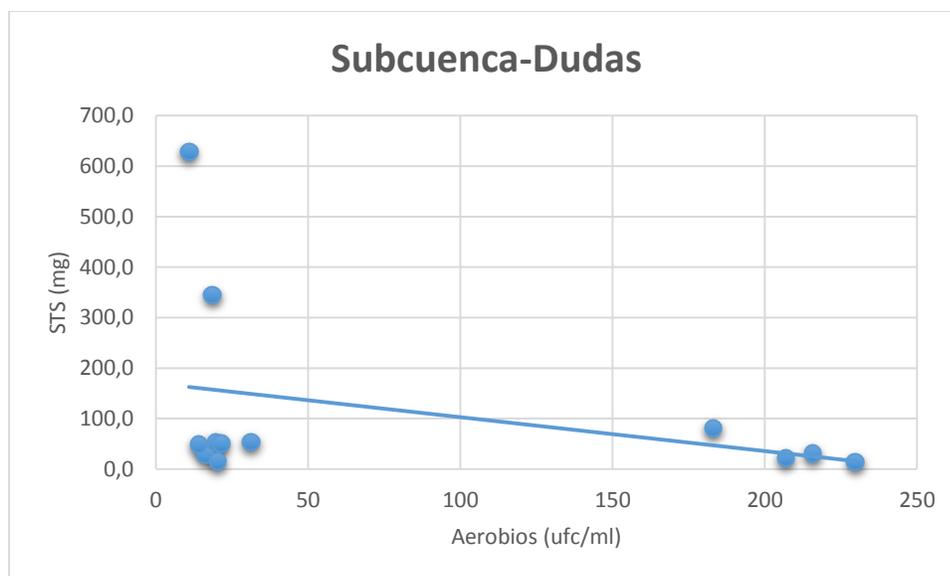


Figura 25. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de aerobios presentes en el río Dudas.

Elaborado por: Autora.

Subcuenca del río Mazar.

De acuerdo a la línea de tendencia que se observa en la Figura 26 la concentración de STS presentes en el río Mazar al parecer poseen una correlación negativa con la cantidad de aerobios presentes de esta cuenca, sin embargo, al determinar el coeficiente de correlación de Pearson que fue de $r = -0.2392$ se puede determinar que la correlación entre las variables no es aceptable ya que no está dentro del criterio de aceptabilidad de 0.5.

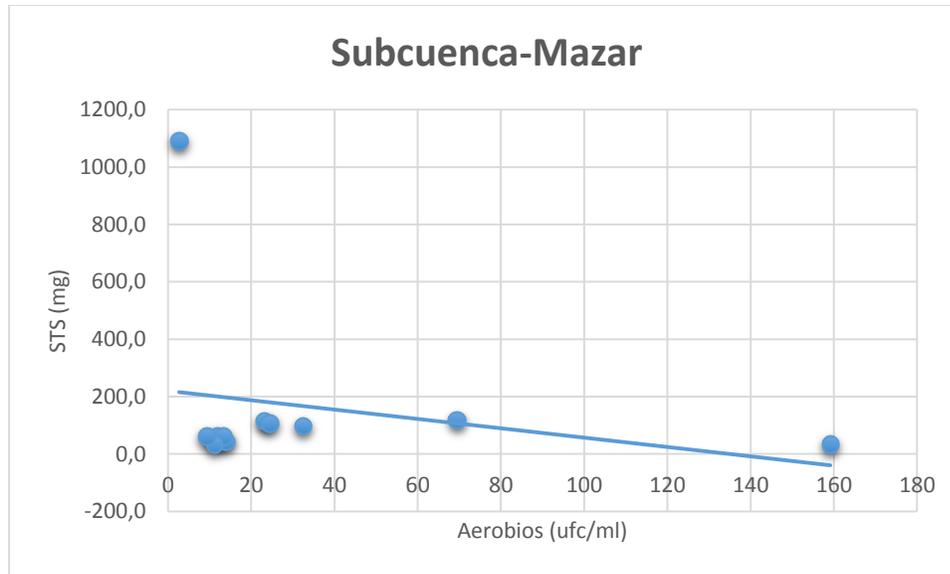


Figura 26. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de aerobios presentes en el río Mazar.

Elaborado por: Autora.

4.8.2 Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes totales presentes en las cuencas de estudio.

Subcuenca del río Dudas.

Como se puede observar en la Figura 27 y de acuerdo con la línea de tendencia la concentración de STS presentes en el río Dudas al parecer poseen una correlación positiva con la cantidad de coliformes totales presentes de esta cuenca, pero esta correlación no es aceptable ya que su coeficiente de correlación fue de $r = 0.3108$ y el criterio de aceptabilidad es de 0.5.

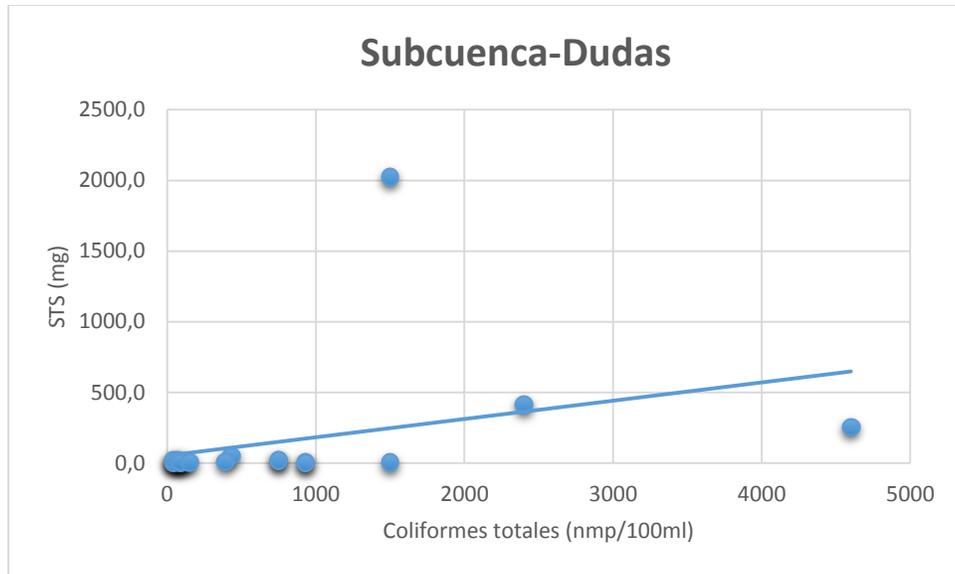


Figura 27. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes totales presentes en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

De acuerdo a la línea de tendencia que se observa en la Figura 28 la concentración de STS presentes en el río Mazar al parecer poseen una correlación positiva con la cantidad de coliformes totales presentes de esta cuenca, sin embargo, al determinar el coeficiente de correlación de Pearson que fue de $r = 0.2475$ se puede determinar que la correlación entre las variables no es aceptable ya que no está dentro del criterio de aceptabilidad de 0.5.

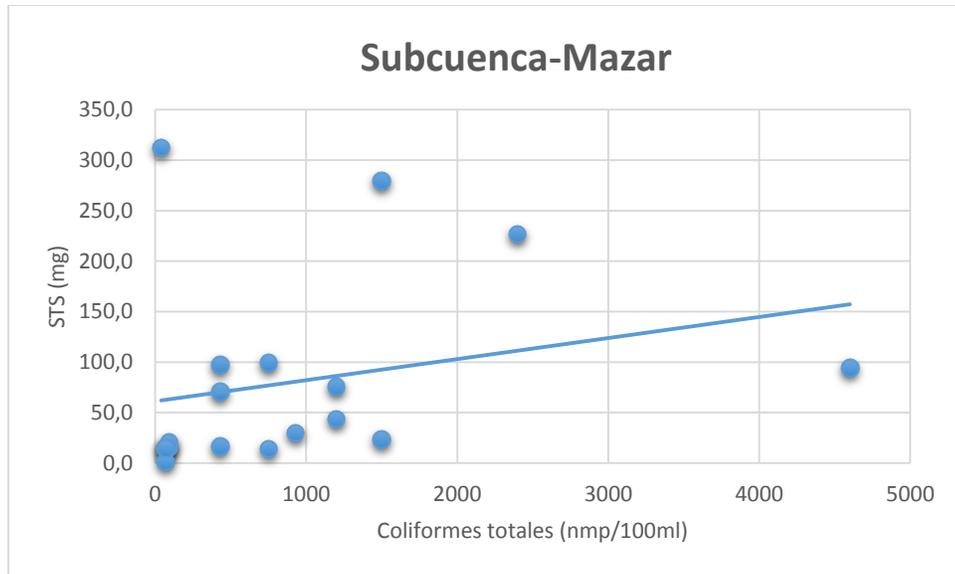


Figura 28. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes totales presentes en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

4.8.3 Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes fecales presentes en las cuencas de estudio.

Subcuenca del río Dudas.

Como se puede observar en la Figura 29 y de acuerdo con la línea de tendencia la concentración de STS presentes en el río Dudas al parecer poseen una correlación positiva con la cantidad de coliformes fecales presentes de esta cuenca, pero esta correlación no es aceptable ya que su coeficiente de correlación fue de $r = 0.3578$ y el criterio de aceptabilidad es de 0.5.

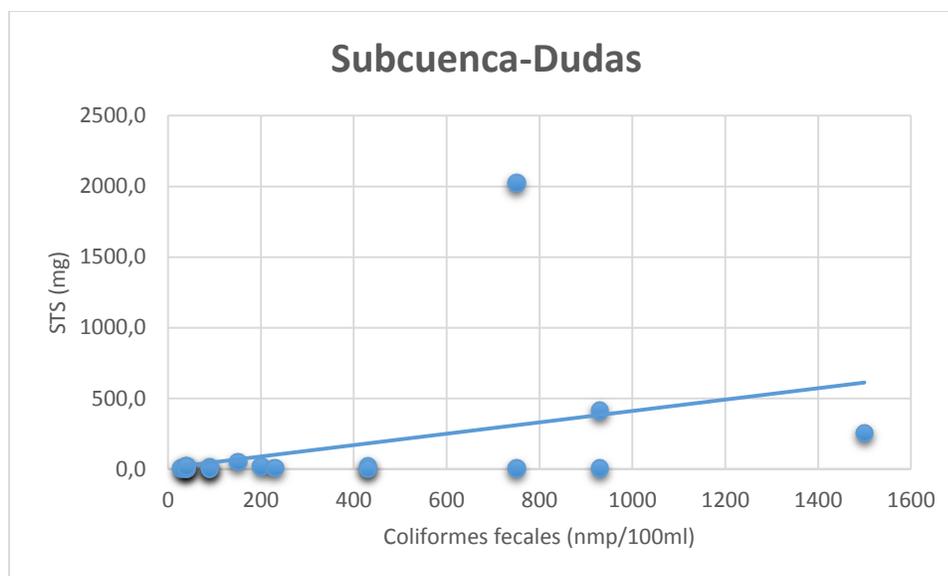


Figura 29. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes fecales presentes en el río Dudas.

Elaborado por: Autora

Subcuenca del río Mazar.

De acuerdo a la línea de tendencia que se observa en la Figura 30 la concentración de STS presentes en el río Mazar al parecer poseen una correlación positiva con la cantidad de coliformes fecales presentes de esta cuenca, sin embargo, al determinar el coeficiente de correlación de Pearson que fue de $r = 0.1914$ se puede determinar que la correlación entre las variables no es aceptable ya que no está dentro del criterio de aceptabilidad de 0.5.

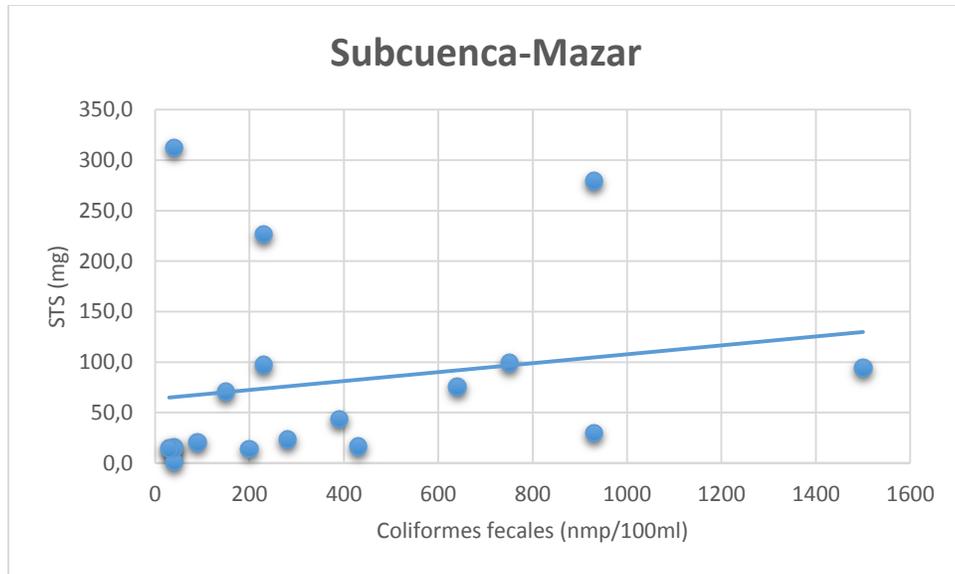


Figura 30. Correlación entre la concentración de STS y la cantidad de coliformes fecales presentes en el río Mazar.

Elaborado por: Autora

CAPITULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES

Los ríos Dudas y Mazar presentan niveles de microorganismos (aerobios, coliformes totales y coliformes fecales) que superan los límites máximos permisibles de las normativas vigentes del país.

Los mapas obtenidos de las cuencas Dudas y Mazar evidencian que en su mayor parte están cubiertos por páramos, sin embargo, los puntos de muestreo están localizados en zonas cubiertas por cultivos permanentes y en donde se desarrollan actividades antropogénicas, principalmente la agricultura y la ganadería.

La cuantificación de los valores críticos de microorganismos coincidió con los muestreos realizados cuando existió la presencia de fuertes precipitaciones en las zonas de estudio, provocado por el arrastre sobre el suelo que facilite a la proliferación de los microorganismos hacia los efluentes de los ríos, principalmente por la existencia de actividades ganaderas y agrícolas cerca de los puntos de muestreo.

Debido a que no existe un sistema de alcantarillado en las áreas de estudio para las aguas servidas, éstas son vertidas directamente en los ríos, lo que contribuye con la contaminación microbiológica del agua.

De acuerdo a la normativa vigente en el país el agua de los ríos Dudas y Mazar no debería ser utilizada para el consumo humano o para riego en épocas de constantes lluvias, debido a los

elevados niveles de coliformes reportados en esta época, por lo que la hipótesis planteada para este estudio es aceptada.

La cantidad de sólidos totales suspendidos excedieron el límite máximo permisible establecido en la TULSMA, especialmente en los periodos de lluvia en donde se observó que por la alta carga de sedimentos en puntos determinados de los ríos Dudas y Mazar, afectaban el aspecto físico del agua ya que estos mostraron alta turbidez.

Se determinó que en la cuenca del río Mazar existe una correlación aceptable entre los coliformes totales y la cobertura vegetal en los respectivos puntos de muestreo, ya que se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson $r = 0.99996$. Sin embargo, para aerobios y coliformes fecales no se pudo establecer una correlación aceptable con respecto a la cobertura vegetal en las cuencas Dudas y Mazar.

La mayor parte de los puntos de muestreo seleccionados para el monitoreo de las cuencas Dudas y Mazar se establecieron en las zonas que se encuentran cubiertas por cultivos permanentes, las cuales son abonadas constantemente con restos orgánicos de animales, en la época invernal con la presencia de lluvias estos abonos pueden ser arrastrados hacia los ríos, originando la contaminación de éstos con microorganismos de origen fecal; provocando que la calidad sanitaria del agua no sea la adecuada para el riego de cultivos, actividades de recreación o uso doméstico.

Se pudo definir que en ninguna de las cuencas de estudio existe una correlación aceptable entre la cantidad de sólidos totales suspendidos y la densidad microbiana, debido a que los valores determinados para el coeficiente de correlación de Pearson fueron siempre menores a 0.5 que es el criterio que se está tomando en consideración para establecer una correlación como aceptable o no.

RECOMENDACIONES.

Realizar planes de monitoreo constantes de parámetros no solo microbiológicos, sino también de los parámetros físicos y químicos, que nos brinden la información adecuada para mantener el control de las cuencas Dudas y Mazar y tomar acciones preventivas cuando sea necesario.

Elaborar planes de mantenimiento y recuperación de las cuencas Dudas y Mazar, para que puedan ser aplicados cuando se considere conveniente.

Controlar las actividades agrícolas y ganaderas que se están desarrollando a lo largo de las cuencas Dudas y Mazar, que pueden tener una influencia directa sobre la disminución de la calidad del agua de estos ríos.

Elaborar un plan para la construcción y el mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas servidas para los poblados que se encuentran en las riberas de los ríos.

REFERENCIAS.

- Acosta, A. (2010). El agua, es un derecho humano no un negocio. Retrieved from <http://www.inredh.org/index.php/en/boletines/boletines-ambientales/157-el-agua-un-derecho-humano-no-un-negocio>
- Aguirre, J. (2011, December). *Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1197>
- Arcos, I. (2005). Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Retrieved from <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/handle/11554/4888>
- Ávila, S. L., & Estupiñán, S. M. (2012). Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, Cundinamarca, Colombia. *Revista Cubana de Higiene Y Epidemiología*, 50(2), 163–168.
- Bahamondes, R. (2007). Restauración Ambiental en Cuencas Hidrográficas. Recuperación de Suelos y de Recursos Hídricos en la Cuenca Alta del Río Purén. *Chile Forestal.*, 329, 17–18.
- Baquero, F., Sierra, L., Ordoñez, L., Tipán, M., Espinosa, L., Rivera, M. B., & Soria, P. (2004). La vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación: potencial y remanente a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. Ecociencia/CESLA/Corporación EcoPar/MAG SIGAPRO/ CDC-Jatun Sacha/División Geográfica-IGM. Quito.

- Barba, L. (2002). CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. UNIVERSIDAD DEL VALLE. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>
- Barrenechea, A. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua, 2–56.
- Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. CRC Press.
- Bartram, J., & Pedley, S. (1996). Chapter 10 - MICROBIOLOGICAL ANALYSES. Published on behalf of United Nations Environment Programme and the World Health Organization. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqmchap10.pdf
- Basán, M., Gallo, L., Rosas, D., Zamar, S., Ostinelli, M., Carreira, D., & D'Elía, M. (2009). Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego).
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. (1970). “A Water Quality Index”. Do we dare? Water and Sewage Works.
- Cabrera, A., & García, E. (2006). Identificación de microorganismos indicadores y determinación de puntos de contaminación en aguas superficiales provenientes del cementerio Jardines del recuerdo ubicado en el norte de Bogotá. Retrieved from <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8283>
- Carrillo, M. S., & Urgilés, P. D. (2016). Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23518>

- Carrión, Y. (2013). *"Una revision de la evaluacion de la calidad de los ríos de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe"*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja-Ecuador.
- Cázares, M., & Alcántara, A. (2014). Analisis microbiológico de la calidad del agua de ciudad nezahualcóytl, acorde a la norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994. In Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación Y Educación.*, 30.
- Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350–355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Chán, M., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 19–23.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition.*, UNESCO/WHO/UNEP, Cambridge University Press.
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., Déley, Á. R., Recalde, C. G., & Rios, A. C. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica Y Geográfica*, 16(31). Retrieved from <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281>
- Cordero, I. (2013). Evaluación de la Gestión Territorial de la cuenca del río Paute, Estrategias y Líneas de Acción Para Superarlas. Tesis previo a la obtención del grado de magister en

- ordenamiento territorial, Universidad de Cuenca, Instituto de Postgrado, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Cuenca. Retrieved April 24, 2017, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3358/1/TESIS%20.pdf>
- DWEA, D. of W. & E. A. (2011). WATER QUALITY MANAGEMENT IN SOUTH AFRICA. Retrieved July 14, 2017, from http://www.dwaf.gov.za/Dir_WQM/wqm.asp
- Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. Retrieved from <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/handle/11554/2946>
- Figueroa, R., Valdovinos, E., Araya, E., & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 275–285.
- Flores, F. (2010). *Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi Ubicado en la Provincia de Imbabura entre las Poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi*. Universidad San Francisco de Quito., Quito. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1005/1/96293.pdf>
- Fundación Cordillera Tropical. (2008). Nudo del Azuay Conservation Initiative: An Introduction to the Dudas Watershed. Retrieved April 27, 2017, from http://www.cordilleratropical.org/files/papers/FCT_Dudas_watershed.pdf
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. (1995). Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Capítulo II. Artículo 3-4. Caracas. Venezuela.
- Galárraga, R., H. (2001). Hidrored - Estado de los Recursos Hídricos en Ecuador - Bases de Datos. Retrieved July 13, 2017, from <http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>

- García, D., & Gonzáles, T. (1986). Métodos biológicos para el estudio de la calidad de agua: aplicación a la cuenca del Duero. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- García, G. (2002). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (libro electrónico). Retrieved from <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>
- Gemmell, M. E., & Schmidt, S. (2012). Microbiological assessment of river water used for the irrigation of fresh produce in a sub-urban community in Sobantu, South Africa. *Food Research International*, 47(2), 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.016>
- Gesche, E., Vallejos, A., & Saez, M. (2003). Eficiencia de Anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua. Método de Número Más Probable (NMP). *Archivos de Medicina Veterinaria*, 35(1), 99–107. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2003000100011>
- Gil, J. (2014, October 6). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa*. UNIVERSIDAD DE MANIZALES., Manizales. Retrieved from <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/1803>
- Gil Marín, J. A., Belloso de Herrera, G., Vizcaino González, C., Maza, I. J., Sánchez, M. C., Bolívar, C. E., & Martínez, P. D. (2013). Evaluation of microbiological quality and levels of nitrates and nitrites in the Guarapiche River, Monagas state, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola.*, 13(1), 154-163.
- González, M., Orlando, & Navarrete, M., Xavier. (2015). *DETERMINACION DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACION DEL RIO PORTOVIEJO, EN EL SECTOR ENTRE ANDRES DE VERA Y PICOAZA, DEL CANTON PORTOVIEJO*

- (Thesis). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ. Retrieved from <http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/168>
- Guillén, V., Teck, H., Kohlmann, B., & Yeomans, J. (2012, March 13). Microorganismos como Bioindicadores de Calidad de Aguas. Retrieved February 2, 2017, from <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=determinacion+de+la+calidad+microbiologica+del+agua+de++rios+2012&btnG=&lr=>
- Guzmán, V., & León, A. (2012). Impacto de la calidad de datos sobre el cierre del balance hídrico en cuencas de páramo y bosques (Mazar y Soldados). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/785>
- Hernández, A. (2007). SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C. SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- Hernández, C. (2010). Estudio físico químico y de contaminación metálicos biocontaminantes en el río Amazonas tramo boca a refinería. Petro Perú.
- Hunter, C., Perkins, J., Tranter, J., & Hardwick, P. (2000). Fecal bacteria in the water of an upland area in Derbyshire England: The influence of agricultural land use. *J. Environ. Qual.*, 29, 1253–1261.
- Ibañez, G., M. (2012). *Elaboracion de un plan de manejo ambiental para la conservacion de la sub cuenca del Rio San Pablo en el canton La Mana, provincia de Cotopaxi.* (Thesis).

- UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI., Latacunga. Retrieved from http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Medio%20Ambiente/T-UTC-2129.pdf
- Jena, V., Dixit, S., & Gupta, S. (2013). Assessment of Water Quality Index of Industrial Area Surface Water Samples. *International Journal of ChemTech Research*, 5, 278–283.
- Johnson, N., Revenga, C., & Echeverria, J. (2001). Managing Water for People and Nature. *Science*, 292(5519), 1071–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1058821>
- Lloret, P. (2000). Problemática de los Recursos Hídricos en el Ecuador. CAMAREN. Quito, EC. *Foro de los Recursos Hídricos. CAMAREN. Quito, EC.*
- López, J. M., & Hernández, E. (1972). *Manejo integral de cuencas hidrográficas (aspectos hidrológicos - forestales)*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales., Mérida – Venezuela. Retrieved from [http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas_hidrograficas_bases_conceptuales_caracterizacion_planificacion_yorganizacion - CARLOS LONDOO.pdf](http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/LIBROS/cuencas_hidrograficas_bases_conceptuales_caracterizacion_planificacion_yorganizacion_CARLOS_LONDOO.pdf)
- Mandigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (1999). *Biología de los microorganismos*. Prentice Hall. Madrid. Octava edición - Google Académico. Retrieved February 3, 2017, from https://scholar.google.es/scholar?q=Biolog%C3%ADa+de+los+microorganismos%E2%80%9D.+Prentice+Hall.+Madrid.+Octava+edici%C3%B3n&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
- Margalef, R. (1983). *Límnología*. (Omega). Barcelona.
- Martínez, R. M., Tuya, L. C., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. M. (2009). El Coeficiente De Correlacion De Los Rangos De Spearman Caracterizacion. *Revista Habanera de*

- Ciencias Médicas*, 8(2). Retrieved from
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180414044017>
- Medha, A., & Hysko, M. (2014). Assessment of water quality of Buna River using microbiological analysis. *Albanian Journal of Agricultural Sciences.*, 113.
- Mite, R. B., Ochoa, L. S., Osorio, B. G., Cunuhay, P. S., Ocampo, E. D., & Cadme, M. L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 109–117.
- Muñoz, C. (1998). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Pearson Educación.
- Ordoñez, J. (2011). Cartilla técnica: “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico”. Foro Peruano para el agua. Retrieved from
http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Ott, W. R. (1978). Environmental indices: theory and practice. Retrieved from
<https://www.osti.gov/scitech/biblio/6681348>
- Perdomo, C. H., Casanova, O. N., & Ciganda, V. S. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia*, 5(1), 10–22. <https://doi.org/10.2477/vol5iss1pp10-22>
- Pérez, P., & Quishpi, G. (2016). Análisis de la calidad de agua de los ríos Nagsiche y Pumacunchi, pertenecientes a la subcuenca del Río Patate, de la Provincia de Cotopaxi. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2853>

- Postel, S. L. (2000). Entering an Era of Water Scarcity: The Challenges Ahead. *Ecological Applications*, 10(4), 941–948. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0941:EAEOWS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0941:EAEOWS]2.0.CO;2)
- Purves, A. (2002). *The Effect of Riparian Vegetation on Stream Temperature in the Shasta River*. (Thesis). California. Retrieved from http://svr.cd.org/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/ShastaThesis_Final.pdf
- Rajiv, P., Hasna, A. S., Kamaraj, M., Rajeshwari, S., & Sankar, A. (2012). Physico Chemical and Microbial Analysis of Different River Waters in Western Tamil Nadu, India. *Research Journal of Environment Sciences*, 1(1), 2–6.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias*. (Editorial de IICA.). San José-Costa Rica. Retrieved from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_JL28RE5CIC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Ramakrishna,+B.+1997.+Estrategias+de+Extensi%C3%B3n+para+el+Manejo+Integrado+de+Cuencas+Hidrogr%C3%A1ficas:+Conceptos+y+Experiencias.&ots=OIUyK-EOEB&sig=Ki5bMXC6WM-KfZNC5ZAYtDe0EmY#v=onepage&q=Ramakrishna%20B.%201997.%20Estrategias%20de%20Extensi%C3%B3n%20para%20el%20Manejo%20Integrado%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas%3A%20Conceptos%20y%20Experiencias.&f=false
- Rivera, N. R., Encina, F., Muñoz, A., & Mejias, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 15(5), 89–101. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642004000500013>

- Rodríguez, C., Muñoz, A., Bonada, I., Gaudes, A., & Tamonova, S. (2009). La biota de los ríos: los invertebrados. Conceptos y técnicas en ecología.
- Rojas, C. M. (2011, July 4). “*Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México.*” Universidad de Guadalajara., Zapopan, Jalisco. Retrieved from http://www.conanp.gob.mx/contenido_2/pdf/cedoc_tesis_2013/Rojas_Mayorquin_Citlalli_Micaela-Estudio_de_la_contaminacion.pdf
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP/Col.* (1a ed.). Medellín, Colombia: Edit. Universidad de Antioquia.
- Romero, A., Gómez, K. F., Sánchez, J. O., & García, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. Retrieved October 10, 2016, from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86311258005>
- Romero, S., García, J., Valdez, B., & Vega, M. (2010). Calidad del Agua para Actividades Recreativas del Río Hardy en la Región Fronteriza México-Estados Unidos. *Información Tecnológica*, 21(5), 69–78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000500010>
- Romeu, B., Larrea, J., Lugo, D., Rojas, N., & Heydrich, M. (2012). Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba. Retrieved October 10, 2016, from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181226874006>
- Salgado, S., Betancourt, F., & Cuesta, F. (2007). Caracterización de la cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca alta del río Mazar, Provincia Cañar–Ecuador. Unidad de Ecología Espacial Laboratorio de SIG & SR Ecociencia. Quito Ecuador. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Cuesta/publication/228543264_Caracterizacion_de_la_cobertura_vegetal_y_uso_del_suelo_en_la_cuenca_alta_del_rio_Mazar_Pr

ovincia_Canar-Ecuador/links/0f3175339db51d9abe000000/Caracterizacion-de-la-cobertura-vegetal-y-uso-del-suelo-en-la-cuenca-alta-del-rio-Mazar-Provincia-Canar-Ecuador.pdf

Sawyer, C. N., McCarty, P., Parkin, G. F., Arteaga, L., & Agudelo, D. A. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental*. Bogotá (Colombia): McGraw-Hill.

SEPADAL. (2010). Evaluación de resultados de los monitoreos realizados en la cuenca del río Rímac en los meses de agosto a diciembre de 2009. Retrieved July 14, 2017, from http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/rios/2009/RIO_RIMAC_DIGESA-SEDAPAL_2009.pdf

Shin, J. Y., Artigas, F., Hobbie, C., & Lee, Y.-S. (2013). Assessment of anthropogenic influences on surface water quality in urban estuary, northern New Jersey: multivariate approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(3), 2777–2794. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2748-0>

Silva, H., Villalobos, B., & Ortega, D. (2012). Calidad bacteriológica del agua del río Cataniapo, municipio Atures, estado Amazonas, Venezuela. *Boletín de Malariología Y Salud Ambiental*, 52(1), 99–105.

Soto, C., & Reina, E. (2012). Análisis de la calidad del agua en la sub-cuenca del Río Coca - Google Académico. Retrieved February 2, 2017, from https://scholar.google.es/scholar?q=An%C3%A1lisis+de+la+calidad+del+agua+en+la+sub-cuenca+del+R%C3%ADo+Coca&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5

Tetreault, D. (2015). Una Taxonomía de Modelos de Desarrollo Sustentable. *Espiral*. Estudios sobre Estado y Sociedad. *Espiral*, 29, 45–80.

- Thompson, S. (2012). Análisis histórico de la cobertura del suelo de la subcuenca del bajo río Mazar. Fundación Cordillera Tropical. Retrieved April 26, 2017, from http://www.cordilleratropical.org/files/papers/Thompson_2012.pdf
- Tshibanda, J. B., Devarajan, N., Birane, N., Mwanamoki, P. M., Atibu, E. K., Mpiana, P. T., ... Poté, J. (2014). Microbiological and physicochemical characterization of water and sediment of an urban river: N'Djili River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 3–4, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2014.07.001>
- TULSMA. (2002). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Retrieved from <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Umaña, E. (2002). MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS Y PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA. EDUCACION AMBIENTAL CON ENFOQUE EN MANEJO CUENCAS Y PREVENCIÓN DE DESASTRES. NICARAGUA. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf>
- USEPA. U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1986). Ambient water quality criteria for bacteria. USEPA, Office of Water Regulation and Standards. Washington, DC, USA.
- Valencia, R., Cerón, C., Palacios, W., & Sierra, R. (1999). Los sistemas de clasificación de la vegetación propuestos para el Ecuador. pp: 19-28. Sierra, R.(Ed.), Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.

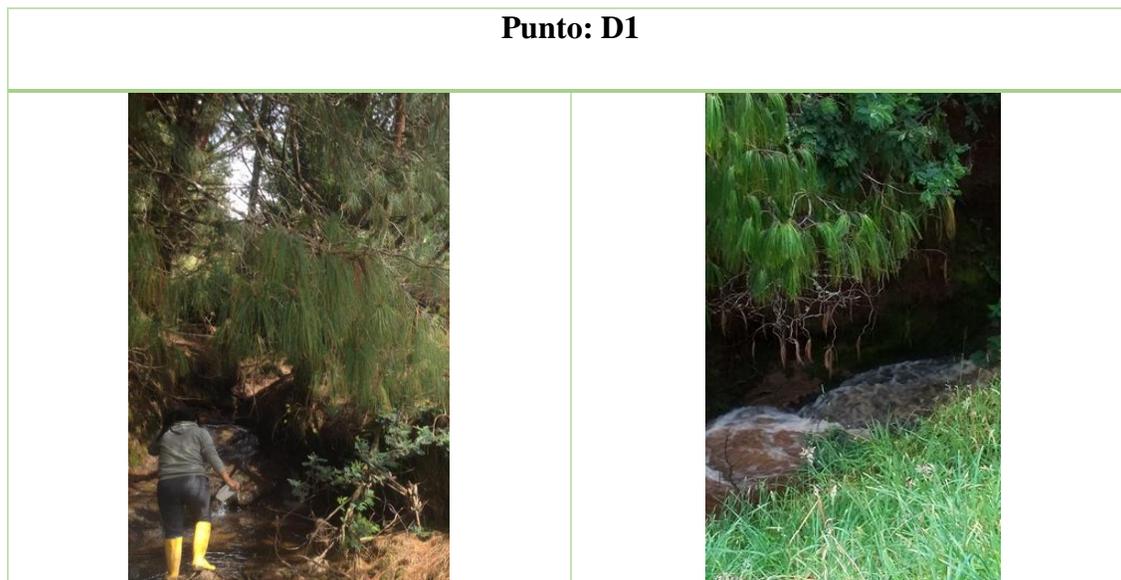
Viessman, J., & Hammer, M. J. (1998). *Water Supply and Pollution Control*, 6th Edition, Addison Wesley Longman, Inc. Menlo Park, California.

Villegas, M., Prado, I., Ortega, M., & Zhurbenko, R. (2012). Identificación de *Pseudomonas aeruginosa* empleando el método del Número Más Probable. *Rev. peru. epidemiol. (Online)*, 16(2), 1–5.

WRI - (World Resources Institute). (2008). *Water Scarcity: Private Investment Opportunities in Agricultural Water Use Efficiency*. Retrieved April 20, 2017, from <http://dx.doi.org/sci-hub.cc/10.1016/B978-0-12-384730-0.00097-5>

ANEXOS.

ANEXO 1. Puntos de muestreo para el río Dudas.



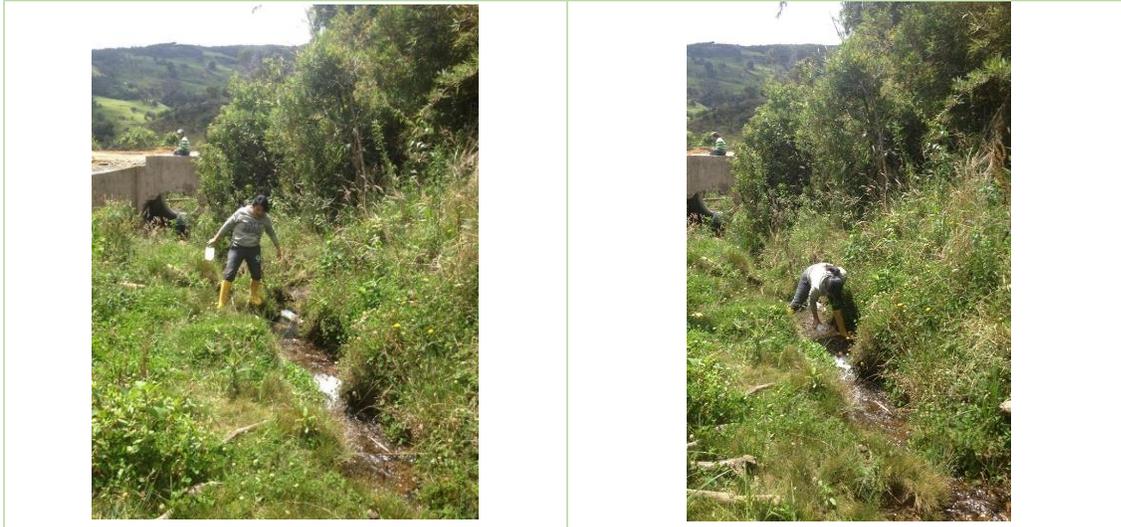
Descripción del sitio de muestreo.

El punto de muestreo D1 está ubicado en la cuenca alta del río Dudas, las personas que habitan en las cercanías a este punto, trasladan a su ganado a este sector para que se alimenten. En los días que se presentaron fuertes precipitaciones toda la contaminación fecal que existía en este punto por la presencia de ganado produjo la contaminación del río.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.599946	-78.76411	3192.46	247	63.72%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	2	8	1000	14	66	8	183
STS	mg/l	2,93478	24,840	18,9221	19,0804	413	9,66666	81,407
Temperatura	°C	15	14	13	14	15	14	14,1666
pH		7,3	7	6,7	7,1	6,5	7,4	7

Punto: D2



Descripción del punto de muestreo.

En el punto D2 es un arroyo ubicado en la cuenca alta del río Dudas cuya cobertura vegetal tiene un alto porcentaje de área cultivada, además existe la presencia de bebederos animales en las cercanías de este punto de muestreo.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.597944	-78.7485	3116.75	57	62.37%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	0	3	1200	5	31	2	206.833
STS	mg/l	20	25,1396	12,5966	41,888	22,307	11,7204	22,275
Temperatura	°C	14	13	12	13	14	13	13,166
pH		6,9	7,3	6,8	7	7,4	7,6	7,1666

Punto: D3



Descripción del punto de muestreo.

El punto de muestreo D3 ubicado en la cuenca alta del río Dudas está rodeado por varias zonas que están cultivadas, el acceso para la toma de muestra en este punto es un poco complicado ya que se debe descender por lo menos 20 metros. En todas las tomas de muestra el agua se observó siempre que el agua era transparente.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.598324	-78.73922	2960.51	2082	50.85%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio- 27	
Aerobios	ufc/ml	1	6	9	2	45	2	10.8333
STS	mg/l	6,7	7,8	22,7	28,2	3052,0	658,0	629,2
Temperatura	°C	12	15	12	9	15	15	13
pH		7	6,7	6,9	7,2	7,1	7,5	7,066

Punto: D4



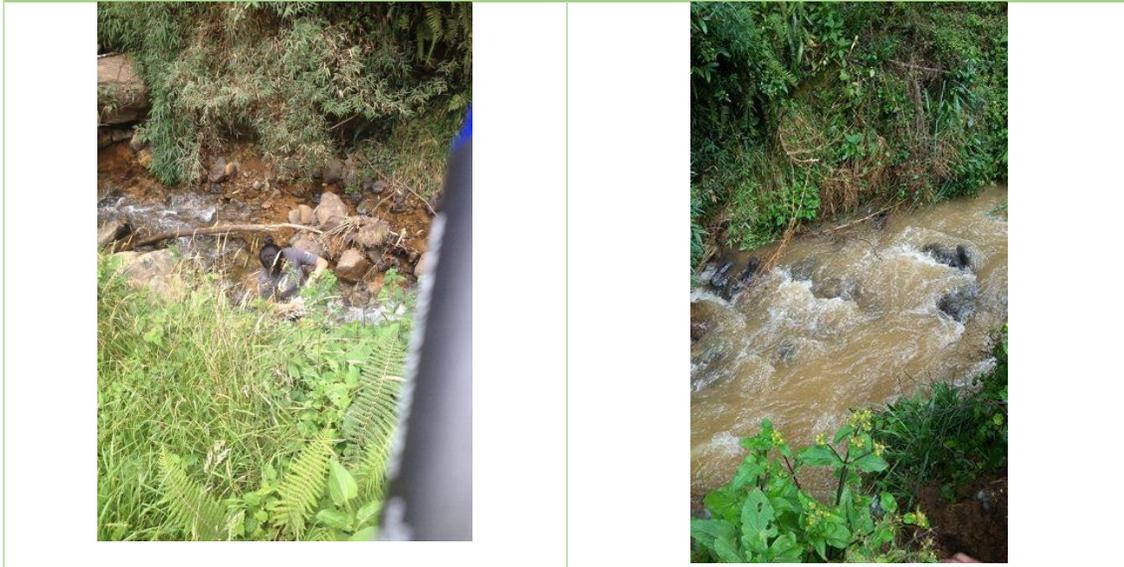
Descripción del sitio de muestreo.

El punto D4 ubicado en la cuenca media del río Dudas está cubierto ampliamente de bosque nativo, cuando se presentan fuertes precipitaciones se puede observar que la apariencia del agua es turbia, además ocurrieron deslizamientos aguas arriba del área de muestreo.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.601036	-78.73336	2884	4410	26.74%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	81	0	8	3	18	1	18.5
STS	mg/l	6,6	4,6	19,1	12,3	2024,3	7,8	345,8
Temperatura	°C	12	13	12	13	12	13	12,5
pH		7,2	7,1	6,5	7,5	5	7,7	6,833

Punto: D5



Descripción del punto de muestreo.

En el punto de muestreo D5 que se ubica en la cuenca media del río Dudas, se observó que existe un alto porcentaje de bosque nativo, a diferencia de la época seca cuando se presentan precipitaciones el agua de este punto también se ve afectada en su apariencia física presentándose con un color café bastante turbio.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.601981	-78.73219	2909.22	504	19.90%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	80	1	1	6	7	2	16.1667
STS	mg/l	8,5	12,7	24,7	12,0	106,3	8,6	28,8
Temperatura	°C	12	13	11	13	13	14	12,666
pH		7,4	7,5	7,1	7,6	7,2	7,8	7,433

Punto: D6



Descripción del punto de muestreo.

En el punto D6 es un arroyo ubicado en la cuenca media del río Dudas cuya cobertura vegetal tiene un alto porcentaje de bosques nativos y existen pocas áreas cultivadas, en épocas de sequía casi no tiene presencia de agua y en temporada de lluvias el agua posee un color transparente.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.601598	-78.72908	99999	78	20.00%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	0	71	4	4	4	1	14
STS	mg/l	11,6	10,3	21,3	27,4	211,4	15,1	49,5
Temperatura	°C	12	15	14	15	13	14	13,833
pH		7,1	7,3	6,9	7,4	7,3	7,8	7,3

Punto: D7



Descripción del punto de muestreo.

Ubicado en la cuenca media del río Dudas se encuentra en punto D7 el cual es afectado aguas arriba por la presencia de una minera, además es evidente en las fotografías el cambio en la apariencia física del agua entre el periodo seco y el lluvioso en el cual el color del agua es bastante turbio.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.596644	-78.72207	2858.77	5141	26.55%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	8	1	5	12	90	2	19.6667
STS	mg/l	5,7	8,2	105,0	3,4	188,9	7,0	53,0
Temperatura	°C	11	13	11	13	12	12	12
pH		7	6,9	7,2	7,1	6,9	7,7	7,133

Punto: D8



Descripción del punto de muestreo.

En el punto de muestreo D8 localizado en la cuenca media del río Dudas, se pudo observar la presencia de ganado en sus riveras, un porcentaje considerable de áreas cultivadas y principalmente en la época de lluvias presentó un aumento importante de su nivel, así como cambios físicos como la presencia de turbidez.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.597157	-78.72011	2854.8	5147	26.56%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	4	3	5	3	105	8	21.333
STS	mg/l	35,8	86,0	11,5	35,5	123,1	11,7	50,6
Temperatura	°C	11	13	11	11	11	12	11,5
pH		7,2	7,4	6,9	7,6	7,1	7,8	7,333

D9



Descripción del punto de muestreo.

En el punto D9 ubicado en la cuenca media del río Dudas existe un área extensa de bosque nativo y un porcentaje mínimo de zonas cultivadas, cuando se presentan precipitaciones el nivel de aumento del agua no es considerable, además este punto está influenciado por la presencia de ganado en sus riveras.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.596955	-78.71986	2854.48	456	11.75%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	3	0	1360	4	3	8	229.6667
STS	mg/l	4,4	6,7	2,7	7,2	60,4	4,5	14,3
Temperatura	°C	11	12	10	11	11	12	11,167
pH		7,3	7,1	7	7,5	6,9	7,5	7,217

Punto: D10



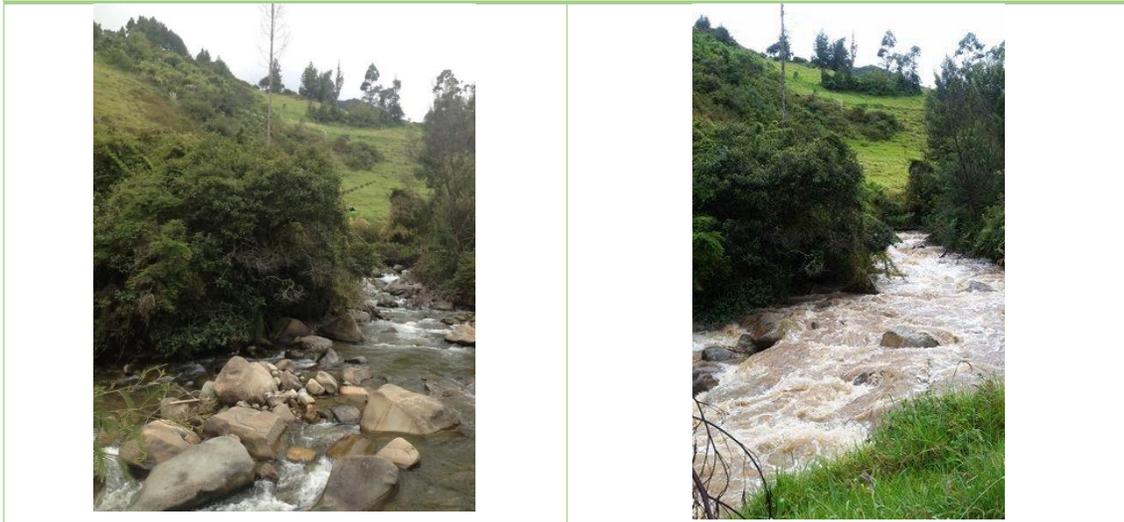
Descripción del punto de muestreo.

Con su localización en la cuenca media del río Dudas el punto D10 es un arroyo que aguas arriba tiene zonas en las que existen bebederos para los animales, su cobertura vegetal es principalmente de bosque nativo y plantaciones forestales.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.596658	-78.71122	2858.83	348	11.07%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	2	3	1260	15	7	7	215.667
STS	mg/l	2,5	16,1	16,1	45,9	95,2	11,0	31,1
Temperatura	°C	12	13	12	13	12	12	12,333
pH		7	7,3	7,1	7	6,9	7,5	7,133

Punto: D11



Descripción del punto de muestreo.

El punto de muestreo D11 se encuentra localizado en la cuenca baja del río Dudas presente un porcentaje de área cultivada mínimo con la presencia de precipitaciones el nivel del agua se incrementa considerablemente, aguas arriba se realizan actividades ganaderas y algo muy importante es que no existen sistemas de agua potable y alcantarillado a lo largo de toda la cuenca del Dudas.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.607729	-78.68923	2693.51	7321	26.15%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	5	12	9	28	120	13	31.1667
STS	mg/l	5,5	5,5	51,3	2,9	254,9	5,2	54,2
Temperatura	°C	12	13	12	13	12	13	12,5
pH		7,4	7,6	7,2	7,5	6,9	7,7	7,383

Punto: D12



Descripción del punto de muestreo.

En la cuenca baja se encuentra el punto D12 que se encuentra influenciado por un alto porcentaje de áreas cultivadas, el nivel de agua no aumento significativamente en la temporada de lluvias y tampoco llegó a presentar turbidez.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.60754	-78.68903	2669.14	14	79.18%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	14	12	3	20	53	19	20.1667
STS	mg/l	6,7	10,9	12,1	23,6	35,9	4,2	15,6
Temperatura	°C	14	14	13	14	14	15	14
pH		7,2	7	6,9	7	7,1	7,3	7,083

ANEXO 2. Puntos de muestreo para el río Mazar.



Descripción del punto de muestreo.

El punto de muestreo M1 ubicado en la cuenca alta del río Mazar está influenciado aguas arriba por la presencia de alpacas, su cobertura vegetal está constituida principalmente de bosque nativo y las áreas que poseen cultivos son mínimas.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.545941	-78.69349	2787.06	145	8.15%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	4	1	11	48	18	2	14
STS	mg/l	119,9	26,7	21,7	12,9	52,6	12,8	41,1
Temperatura	°C	12	12	13	12	12	13	12,66
pH		7	7	7,3	7	7,5	7,1	7,25

Punto: M2

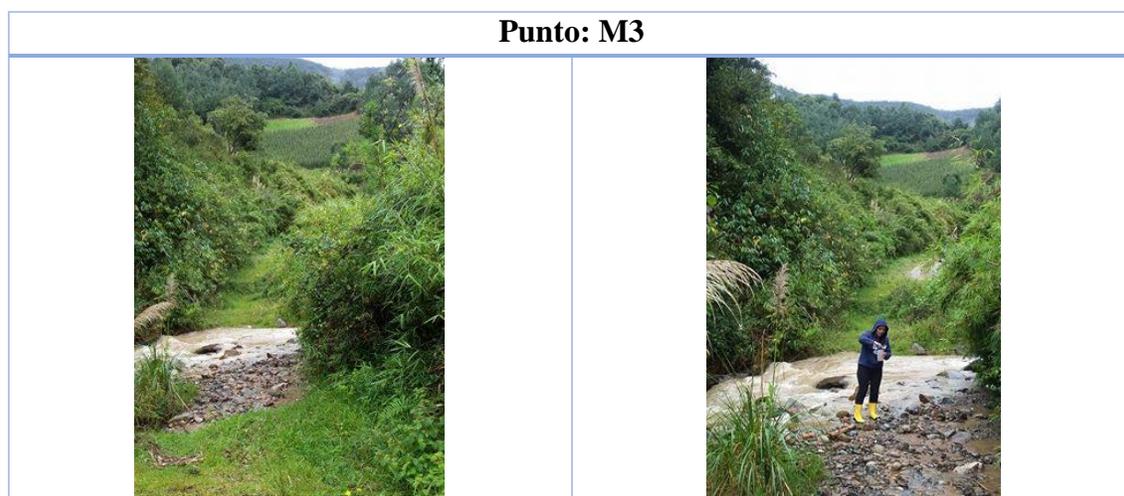


Descripción del punto de muestreo.

Localizado en la cuenca alta del río Mazar se encuentra el punto M2 que es un arroyo que, si bien presenta una zona extensa de bosque nativo, el porcentaje de área cultivada es importante, la temporada de lluvias no influye significativamente en el nivel del agua ni en el aspecto físico del agua en este punto.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.546733	-78.68788	2712.95	148	39.65%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	6	15	75	840	12	10	159.666
STS	mg/l	25,2	32,4	41,8	18,1	55,4	22,2	32,5
Temperatura	°C	14	14	14	12	14	15	13,833
pH		7,1	7,5	7,2	7,7	7,3	7,8	7,433



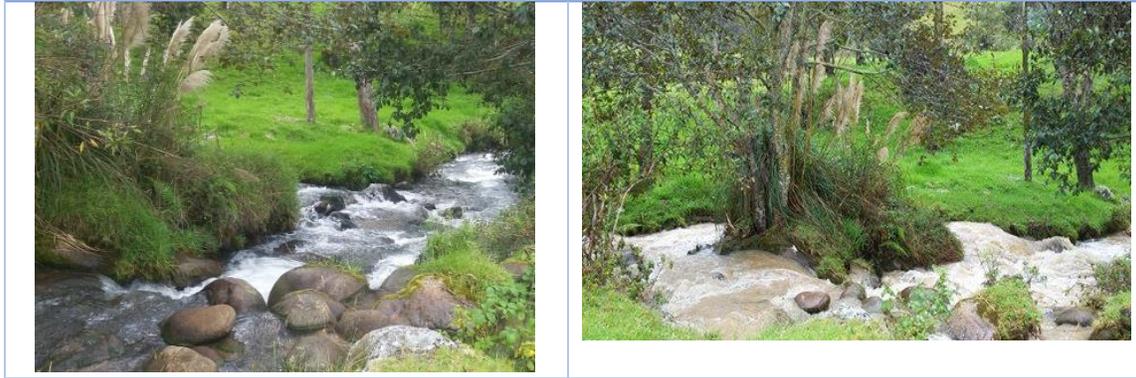
Descripción del punto de muestreo.

El punto M3 que está ubicado en la cuenca alta del río Mazar está cubierto por un área extensa de bosque nativo, las zonas que se encuentran cultivadas son escasas, cuando se presentan fuertes precipitaciones es evidente la turbidez que se presenta en este punto.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.547273	-78.67973	2624.51	1861	19.33%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	20	0	10	11	30	0	11.8333
STS	mg/l	29,5	15,9	16,4	14,3	279,5	14,4	61,7
Temperatura	°C	12	13	13	11	12	13	12,333
pH		7,4	7,2	7	7,6	7,2	7,8	7,367

Punto: M4



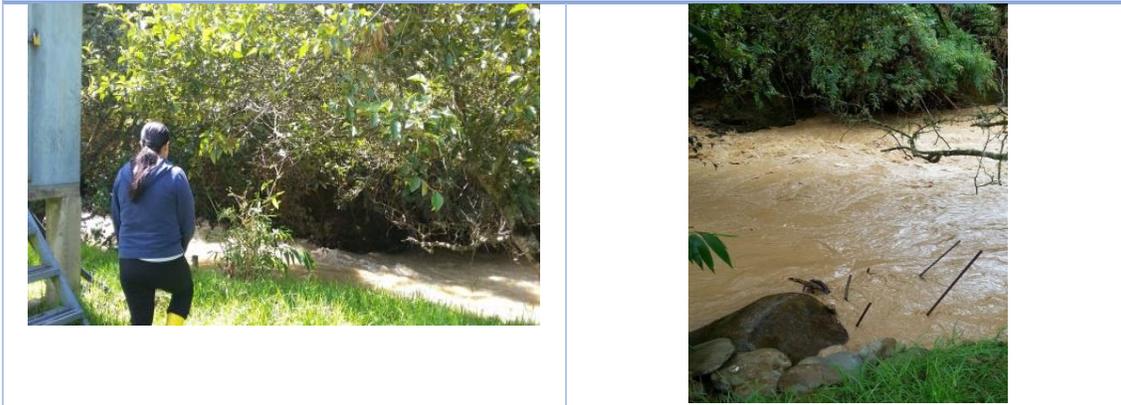
Descripción del punto de muestreo.

El punto M4 se localiza en la cuenca alta del río Mazar está influenciado por la presencia de ganado en las riberas, tiene una extensa área de bosque nativo y la presencia de áreas cultivadas es importante, durante época de lluvias se puede evidenciar un cambio notorio en el color del agua como se observa en las fotografías.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.540222	-78.67131	2528.42	1916	21.64%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	6	0	2	22	48	2	13.333
STS	mg/l	43,5	22,5	18,2	12,0	264,4	3,3	60,6
Temperatura	°C	12	12	15	15	11	12	13,333
pH		7,3	7,3	7,1	6,9	7,3	7,1	7,,25

Punto: M5



Descripción del punto de muestreo.

Ubicado en la cuenca alta del río Mazar se encuentra el punto de muestreo M5 el cual tiene una zona extensa de bosque nativo, también existen plantaciones forestales en una menor proporción y el área cultivada es mínima. Durante las fuertes precipitaciones el nivel del agua en este punto se incrementó considerablemente y la turbidez del agua fue evidente.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.541485	-78.67101	2525.44	11291	8.22%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	5	0	3	2	6	0	2.6667
STS	mg/l	79,9	114,0	432,2	18,3	5839,9	62,1	1091,1
Temperatura	°C	13	13	15	14	11	13	13,5
pH		7,3	7,3	7,5	6,8	7,7	6,7	7,31667

Punto: M6



Descripción del punto de muestreo.

En el punto M6 que es un arroyo ubicado en la cuenca media del río Mazar, aguas arriba tiene la presencia de áreas de bebedero animal, además presenta un porcentaje de áreas cultivadas extensa y tiene una proporción menor de plantaciones forestales.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.553423	-78.67183	2648.04	34	61.99%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	10	7	18	30	120	10	32.5
STS	mg/l	76,8	65,2	72,1	51,5	119,8	195,3	96,8
Temperatura	°C	14	16	16	14	15	16	15,167
pH		7,2	7	7,1	7,5	7,3	7,7	7,3

Punto: M7



Descripción del punto de muestreo.

Localizado en la cuenca media del río Mazar se encuentra el punto de muestreo M7 el cual tiene un área cultivada extensa y posee una zona mínima de bosque nativo. Este punto está influenciado por la presencia de ganado en las cercanías a la toma de la muestra.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.564522	-78.6694	2651.29	15	77.49%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	5	8	21	17	360	6	69.5
STS	mg/l	312,3	71,1	94,4	43,7	99,3	97,3	119,7
Temperatura	°C	16	16	17	14	16	16	15,833
pH		7,1	7,4	7	7,6	7	7,8	7,317

Punto: M8



Descripción del punto de muestreo.

El punto de monitoreo M8 se ubica en la cuenca media del río Mazar tiene la presencia grandes áreas de bosque nativo y de plantaciones forestales; aguas arriba de este punto se encuentra la presencia de ganado. La temporada de lluvias no provoca un incremento significativo de la cantidad del agua, sin embargo, causa que el agua se vuelva un poco turbia.

Datos Generales

Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.565882	-78.67336	2701.9	126	41.04%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	2	6	1	1	56	1	11.1667
STS	mg/l	18,9	21,0	12,7	41,3	88,7	15,5	33,0
Temperatura	°C	13	14	14	13	13	15	13,667
pH		7,3	7,5	7,1	7,6	7,2	7,8	7,417

Punto: M9



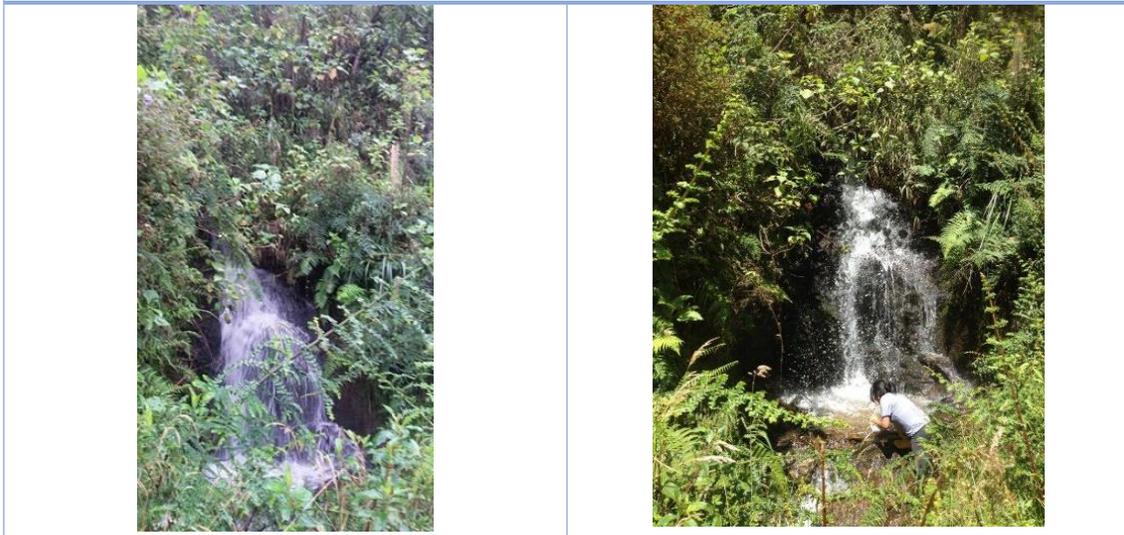
Descripción del punto de muestreo.

Localizado en la cuenca baja del río Mazar se encuentra el punto M9 el cual está formado por una zona considerable de bosque nativo y un porcentaje de área cultivada menor; en este punto cuando se presentan fuertes precipitaciones el nivel del agua se incrementa considerablemente y el agua presenta un color turbio.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.576627	-78.67247	2538.1	705	19.50%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	108	1	10	11	7	2	23.1667
STS	mg/l	23,1	8,2	35,5	137,2	481,2	4,0	114,9
Temperatura	°C	14	14	15	12	14	14	13,833
pH		7,3	7,2	7	7,3	7,1	7,8	7,283

Punto: M10



Descripción del punto de muestreo.

El punto de muestreo M10 ubicado en la cuenca baja del río Mazar presenta un porcentaje de áreas cultivadas importante y la mayor parte de su cobertura está conformada por bosque nativo. Este punto está influenciado aguas arriba por la presencia de bebederos animales y en épocas de lluvias no se evidencia un cambio significativo en la cantidad del agua o en su aspecto físico.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.576751	-78.67235	2541.59	52	44.44%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	5	3	6	13	28	1	9.3333
STS	mg/l	1,2	20,7	23,3	226,6	75,6	14,8	60,4
Temperatura	°C	15	15	16	13	14	15	14,667
pH		7	7,1	7	7,3	7,2	7,4	7,167

Punto: M11



Descripción del punto de muestreo.

Ubicado en la cuenca baja del río Mazar se encuentra el punto de muestreo M11 en el cual su cubierta vegetal está conformada principalmente de bosque nativo, zonas del cultivo y en las cercanías de este punto existen áreas pobladas; además al igual que en la cuenca del río Dudas en Mazar tampoco existen sistemas de agua potable y alcantarillado, lo que significa que las aguas residuales son descargadas directamente hacia el río.

Datos Generales				
Latitud	Longitud	Elev_m ²	Área (ha)	% de área cultivada
-2.586007	-78.66241	2490.31	443	50.22%

Parámetro	Unidades	Fecha						Promedio
		Mar-22	Abr-25	May-16	May-30	Jun-13	Junio-27	
Aerobios	ufc/ml	13	8	16	9	94	7	24.5
STS	mg/l	18,7	19,0	46,3	11,8	520,5	19,9	106,0
Temperatura	°C	14	16	15	13	14	14	14,333
pH		7,2	7,4	7	7,7	7,2	7,9	7,4

ANEXO 3.

Tabla del número más probable por 100 ml. usando tres tubos de 10 ml, tres de 1 ml y tres de 0.1 ml.

Combinación de tubos positivos.	NMP/100 ml	Límite de confianza 95%	
		Límite inferior	Límite superior
0-0-0	<3		
0-0-1	3	<0.5	9
0-1-0	3	<0.5	13
1-0-0	4	<0.5	20
1-0-1	7	1	21
1-1-0	7	1	23
1-1-1	11	3	36
2-0-0	9	1	36
2-0-1	14	3	37
2-1-0	15	3	44
2-1-1	20	7	89
2-2-0	21	4	47
2-2-1	28	10	150
3-0-0	23	4	120
3-0-1	39	7	130
3-0-2	64	15	380
3-1-0	43	7	210
3-1-1	75	14	230
3-1-2	120	30	380
3-2-0	93	15	380
3-2-1	150	30	440
3-2-2	210	35	470
3-3-0	240	36	1,300
3-3-1	460	71	2,400
3-3-2	1,100	150	4,800
3-3-3	≥2,400		

Fuente: (Cázares & Alcántara, 2014).