

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL POSGRADO MAESTRÍA EN QUÍMICA

**Tema:** “EFECTO DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL RIO AMBATO”

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de:

Magister en Química mención Química Física.

Modalidad de titulación proyecto de desarrollo

**Autor(a):** Ingeniera, María Fernanda Garcés Alvear

**Director(a):** Químico, Lander Vinicio Pérez Aldaz, Mg

Ambato – Ecuador

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad de Titulación/ Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg. e integrado por los señores Química. Jeanette Verónica Carrera Cevallos, M.Sc & el Ing. Rodney David Peñafiel Ayala, Dr. Designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el trabajo de Titulación con el tema: “Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato”, elaborado y presentado por la Ing. María Fernanda Garcés Alvear, para optar el Grado Académico de Magister en Química mención Química Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

---

Quím. Jeanette Verónica Carrera Cevallos, M.Sc.

Miembro del Tribunal de Defensa

---

Ing. Rodney David Peñafiel Ayala, Dr.

Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de titulación presentado con el tema “Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato” le corresponde exclusivamente a la Ingeniera María Fernanda Garcés Alvear, autor, bajo la dirección del Químico Lander Vinicio Pérez Aldas, Mg., director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual le pertenece a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. María Fernanda Garcés Alvear

**AUTORA**

---

Químico. Lander Vinicio Pérez Aldas, Mg.

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el trabajo de titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo mis derechos de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. María Fernanda Garcés Alvear

1803534252

## ÍNDICE GENERAL

### CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xii
AGRADECIMIENTO.....	xiii
DEDICATORIA .....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xv
EXECUTIVE SUMMARY .....	xvii
<b>1. CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1. <b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.2. <b>Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>2. CAPITULO II.....</b>	<b>5</b>
2.1. <b>Estado del arte.....</b>	<b>5</b>
2.1.1. <b>Características físico, químicas y biológicas del agua.....</b>	<b>5</b>
2.1.2. <b>Propiedades del agua. ....</b>	<b>13</b>
2.1.3. <b>Calidad Ambiental del agua.....</b>	<b>13</b>
2.1.4. <b>Factores que afectan la calidad del agua.....</b>	<b>16</b>

2.1.5. Contaminación del Agua .....	17
2.1.6. Contaminación de los ríos .....	20
2.1.7. Análisis de las características físicoquímicos de los ríos.....	21
2.1.8. Actividades Antrópicas en los ríos.....	22
2.1.9. Cuenca hidrográfica del rio Ambato .....	25
2.1.10. Demanda hídrica de la microcuenca del río Ambato .....	27
2.1.11. Contaminación del rio Ambato .....	28
2.1.12. Características fisicoquímicas del rio Ambato .....	29
2.1.13. Efectos de las Actividades Antrópicas en el rio Ambato .....	30
2.1.14. Fundamentación legal .....	31
2.1.15. Parámetros para el agua de consumo humano en el Ecuador .....	33
2.1.16. Programa de monitoreo y muestreo de aguas .....	33
2.1.17. Índice De Calidad Del Agua (ICA) .....	38
2.2. Objetivos .....	41
2.2.1. General .....	41
2.2.2. Específicos .....	41
3. CAPÍTULO III .....	42
3.1. Metodología .....	42
3.1.1. Métodos .....	45
3.1.2. Tipo de Investigación.....	60
3.1.3. Hipótesis. ....	62

3.1.4. Variables de la Hipótesis.....	63
<b>4. CAPÍTULO IV .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1. Resultados.....</b>	<b>64</b>
4.1.1. Plan de monitoreo del río Ambato .....	64
4.1.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Ambato..	65
4.1.3. Determinación del Índice de Calidad General del Agua NSF .....	67
<b>4.2. Análisis de Resultados .....</b>	<b>69</b>
4.2.1. Parámetros geográficos y condiciones meteorológicas. ....	69
4.2.2. Resultados de los parámetros analizados en los 10 puntos de muestreo en las dos campañas. ....	69
4.2.3. Determinación del Índice de Calidad del Agua NSF .....	97
<b>4.3. Verificación de Hipótesis.....</b>	<b>98</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>108</b>
<b>5.1. Conclusiones .....</b>	<b>108</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Factores antrópicos en las zonas rurales y urbanas .....	23
<b>Tabla 2.</b> Demanda hídrica de la microcuenca del río Ambato .....	27
<b>Tabla 3.</b> Caracterización fisicoquímica del río Ambato del 2016 y el índice de la calidad del agua.....	29
<b>Tabla 4.</b> Calidad del agua asociada al valor del ICA (Escala de clasificación del ICA – NSF).....	39
<b>Tabla 5.</b> Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF .....	39
<b>Tabla 6.</b> Puntos de muestreo, código de muestras y coordenadas geográficas.....	42
<b>Tabla 7.</b> Distribución de los parámetros de análisis agua de río y conservación. ....	46
<b>Tabla 8.</b> Escala de clasificación del ICA .....	59
<b>Tabla 9.</b> Justificativos en la determinación de los puntos de muestreo de aguas naturales y superficiales .....	60
<b>Tabla 10.</b> Elementos y Componentes analizados en el diseño experimental .....	62
<b>Tabla 11.</b> Parámetros geográficos y condiciones meteorológicos tomados In Situ en los puntos de muestreo en las dos fases. ....	64
<b>Tabla 12.</b> <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en los puntos 1 al punto 5 muestreados en las dos campañas.</i> .....	65
<b>Tabla 13.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en los puntos 6 al punto 10 muestreados en las dos campañas.....	66
<b>Tabla 14.</b> Valores del ICA de la fase 1 y fase 2 de los puntos muestreados y analizados aplicando la fórmula $ICA = i = 1n(IixWi)$ .....	68
<b>Tabla 15.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para Oxígeno Disuelto.....	70
<b>Tabla 16.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para Conductividad.....	72
<b>Tabla 17.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para Turbidez .....	75
<b>Tabla 18.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de hierro .....	77
<b>Tabla 19.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de arsénico.....	79



<b>Tabla 20.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de cadmio .....	80
<b>Tabla 21.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de níquel .....	82
<b>Tabla 22.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de plomo.....	83
<b>Tabla 23.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de calcio .....	84
<b>Tabla 24.</b> Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de magnesio.....	85
<b>Tabla 25.</b> Valores del Índice de Calidad de Agua del río Ambato .....	98
<b>Tabla 26.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro oxígeno disuelto .....	99
<b>Tabla 27.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro turbidez .....	99
<b>Tabla 28.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro DBO .....	99
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetros sólidos totales .....	100
<b>Tabla 30.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetros sólidos suspendidos.....	100
<b>Tabla 31.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro conductividad .....	100
<b>Tabla 32.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro fosfatos.....	101
<b>Tabla 33.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro amoníaco.....	101
<b>Tabla 34.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro sulfatos .....	101
<b>Tabla 35.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro alcalinidad ...	102
<b>Tabla 36.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro color .....	102
<b>Tabla 37.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro dureza.....	102
<b>Tabla 38.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro cloruros .....	103
<b>Tabla 39.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro aceites y grasas .....	103
<b>Tabla 40.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro cadmio.....	103
<b>Tabla 41.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro calcio .....	104
<b>Tabla 42.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro plomo .....	104
<b>Tabla 43.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro hierro .....	104

<b>Tabla 44.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro potencial de hidrógeno .....	105
<b>Tabla 45.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetros sólidos disueltos .....	105
<b>Tabla 46.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro DQO.....	105
<b>Tabla 47.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro nitratos .....	106
<b>Tabla 48.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro nitritos .....	106
<b>Tabla 49.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro arsénico .....	106
<b>Tabla 50.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro níquel .....	107
<b>Tabla 51.</b> Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro magnesio .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fuentes de contaminación del agua .....	15
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la microcuenca del río Ambato y zonas de influencia directa e indirecta.....	26
<b>Figura 3.</b> Curvas de calidad de DBO y STD .....	39
<b>Figura 4.</b> Curvas de calidad de turbidez y CF .....	40
<b>Figura 5.</b> Curvas de calidad de $\text{NO}_3^{-1}$ y $\text{PO}_4^{3-}$ .....	40
<b>Figura 6.</b> Curvas de calidad de temperatura y pH .....	40
<b>Figura 7.</b> Curvas de calidad de OD .....	41
<b>Figura 8.</b> Mapa geopolítico de Tungurahua, cantón Ambato donde fue la zona de estudio .....	43
<b>Figura 9.</b> Puntos de muestreo a lo largo de la microcuenca del río Ambato que abarcó la zona de estudio .....	44
<b>Figura 10.</b> Medición de metales pesados utilizando en Digestor microondas ETHOS UP MILESTONE.....	49
<b>Figura 11.</b> Medición de metales pesados Mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica PG INSTRUMENTS AA500 con horno de grafito.....	50
<b>Figura 12.</b> Medición de la turbidez utilizando el turbidímetro portátil TN400 TURBIDITY.....	50
<b>Figura 13.</b> Determinación de Oxígeno Disuelto mediante método yodométrico.....	51
<b>Figura 14.</b> Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante espectrofotómetro HACH.....	52
<b>Figura 15.</b> Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se determinó mediante el equipo OxiTop.....	53
<b>Figura 16.</b> Determinación de sólidos suspendidos totales.....	54
<b>Figura 17.</b> Determinación de sólidos disueltos totales por método gravimétrico .....	54
<b>Figura 18.</b> Determinación de sulfatos mediante el Test Sulfatos de la marca MERCK. ....	57
<b>Figura 19.</b> Tabla de valores del factor de ponderación utilizado para el cálculo del ICA NSF.....	59

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Resultados de Oxígeno Disuelto en $\text{mgO}_2/\text{L}$ en ambas fases de muestreo ..	71
<b>Gráfico 2.</b> Resultados de Conductividad en $\text{mgO}_2/\text{L}$ en ambas fases de muestreo .....	72
<b>Gráfico 3.</b> Resultados de Turbidez en UNT en ambas fases de muestreo .....	74
<b>Gráfico 4.</b> Resultados de pH en ambas fases de muestreo .....	76
<b>Gráfico 5.</b> Resultados de concentraciones de Hierro en ambas fases de muestreo .....	78
<b>Gráfico 6.</b> Resultados de concentraciones de Arsénico en ambas fases de muestreo ...	80
<b>Gráfico 7.</b> Resultados de concentraciones de Cadmio en ambas fases de muestreo .....	81
<b>Gráfico 8.</b> Resultados de concentraciones de Níquel en ambas fases de muestreo .....	82
<b>Gráfico 9.</b> Resultados de concentraciones de Plomo en ambas fases de muestreo .....	83
<b>Gráfico 10.</b> Resultados de concentraciones de Calcio en ambas fases de muestreo .....	84
<b>Gráfico 11.</b> Resultados de concentraciones de Magnesio en ambas fases de muestreo	85
<b>Gráfico 12.</b> Resultados de Demanda Química de Oxígeno $\text{mgO}_2/\text{L}$ en ambas fases de muestreo.....	86
<b>Gráfico 13.</b> Resultados de Amoníaco $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo .....	87
<b>Gráfico 14.</b> Resultados de $\text{DBO}_5$ $\text{mgO}_2/\text{L}$ en ambas fases de muestreo.....	88
<b>Gráfico 15.</b> Resultados de Nitratos $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo .....	88
<b>Gráfico 16.</b> Resultados de Nitritos $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo .....	89
<b>Gráfico 17.</b> Resultados de Fosfatos $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo .....	90
<b>Gráfico 18.</b> Resultados de Sulfatos $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo.....	91
<b>Gráfico 19.</b> Resultados de color en ambas fases de muestreo .....	91
<b>Gráfico 20.</b> Resultados de Sólidos totales $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo .....	92
<b>Gráfico 21.</b> Resultados de Sólidos suspendidos $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo .....	93
<b>Gráfico 22.</b> Resultados de alcalinidad en ambas fases de muestreo .....	94
<b>Gráfico 23.</b> Resultados de dureza en ambas fases de muestreo.....	95
<b>Gráfico 24.</b> Resultados de cloruros $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo.....	96
<b>Gráfico 25.</b> Resultados de aceites y grasas $\text{mg/L}$ en ambas fases de muestreo.....	97

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por que él me ha bendecido dándome la oportunidad de seguirme superando en cada momento.

A mis padres Luis y Mariana por el cariño y la confianza que me han brindado al estar pendientes en todo momento.

A mis hijos Pablo Fernando y Karla Emileth la gratitud inmensa por el amor que me demuestran cada día, estando siempre a mi lado alentándome en los momentos más difíciles que hemos atravesado, siendo mi mayor inspiración para alcanzar un logro más en mi vida profesional, a ellos se los debo el deseo de salir adelante siempre.

A mi Tutor Químico, Lander Vinicio Pérez Aldas, Mg por aportar con su conocimiento y experiencia en la realización del presente trabajo sobre todo en la parte experimental, por el apoyo brindado en cada etapa de este proceso, motivándome siempre a lograr la meta planteada.

A todas las personas cercanas en mi vida, por las palabras de aliento y motivación.

***Gracias por todo.***

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mi familia en especial a mis amados hijos: Pablo Fernando y Karla Emileth quienes han sido el motor de mi vida personal y profesional, por el sacrificio de todo el tiempo que he dedicado a la realización de este proyecto dejando a un lado el compartir momentos con ellos, a mis padres quienes han forjado mi carácter apoyándome en todo momento, alentándome a superarme y afrontar cada reto en la vida.

Con estima, María Fernanda Garcés Alvear.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**MAESTRÍA EN QUÍMICA**

**TEMA:**

**“EFECTO DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL RIO AMBATO”**

**AUTOR:** Ingeniera, María Fernanda Garcés Alvear

**DIRECTOR:** Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Medio Ambiente

**FECHA:** 23 de julio de 2021

**RESUMEN EJECUTIVO**

La investigación tiene como objetivo determinar el efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato, mediante parámetros de calidad que permitan estimar el nivel de contaminación del río, para ello se estableció una red de muestreo y plan de monitoreo en dos fases, llevadas a cabo en el año 2020 y 2021, tomando 10 puntos de monitoreo a lo largo de la microcuenca del río, empezando por el sector de Marcopamba (zona de alta pendiente) hasta el sector de las Viñas (zona de baja pendiente).

La evaluación de las características fisicoquímicas se realizó bajo métodos estándar, tomando en cuenta los límites máximos permisibles de la Normativa de Calidad Ambiental (TULSMA), a su vez, se evaluó la contaminación a través del Índice de Calidad de Agua (ICA) NSF y finalmente se correlacionaron los datos mediante un análisis estadístico Anova. Los resultados de las mediciones de parámetros fisicoquímicos se encontraron por encima del límite permisible destacándose los valores más altos en: oxígeno disuelto (8,4 y 7,6 mg/L), turbidez (118 y 193 UNT), fosfatos (2,1 y 0,9 mg/L), color (94 y 144), sólidos suspendidos (284 y 958 mg/L), metales pesados como cadmio (>0,02 mg/L), níquel (>2 mg/L), plomo (7,4 y 6,5 mg/L), magnesio (>2 mg/L).

De lo anteriormente expuesto se estimó una calidad regular y mala del agua en las diferentes zonas muestreadas, afectadas en su mayoría por los diferentes factores

antrópicos principalmente descargas de aguas domésticas e industriales. Finalmente, esto permitió señalar un deterioro progresivo del río Ambato en un período anual, además de sugerir mantener constantes evaluaciones de la calidad del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Contaminación, ambiente, Contaminación hídrica, Calidad del agua, Contaminantes antropogénicos, río Ambato.



**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**

**FACULTY OF SYSTEMS, ELECTRONIC AND INDUSTRIAL  
ENGINEERING**

**MASTER'S DEGREE IN CHEMISTRY**

**THEME:**

**“EFFECT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON THE  
PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE AMBATO  
RIVER”**

**AUTHOR:** Engineer, María Fernanda Garcés Alvear

**DIRECTOR:** Chemical, Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás, Mg.

**LINE OF RESEARCH:** Environment

**DATE:** July 23, 2021

**EXECUTIVE SUMMARY**

The objective of the research is to determine the effect of anthropic activities on the physicochemical characteristics of the Ambato River, through quality parameters that allow estimating the level of contamination of the river, for this a sampling network and monitoring plan were established in two phases, carried out in 2020 and 2021, taking 10 monitoring points along the micro-basin of the river, starting with the Marcopamba sector (high slope area) to the Viñas sector (low slope area).

The evaluation of the physicochemical characteristics was carried out under standard methods, considering the maximum permissible limits of the Environmental Quality Regulation (TULSMA), in turn, the contamination was evaluated through the NSF Water Quality Index (WQI) and finally the data were correlated by means of an Anova statistical analysis. The results of the measurements of physicochemical parameters were found above the permissible limit, highlighting the highest values in dissolved oxygen (8,4 and 7,6 mg/L), turbidity (118 and 193 NTU), phosphates (2,1 and 0,9 mg/L), color (94 and 144), suspended solids (284 and 958 mg/L), heavy metals such as cadmium (> 0.02 mg/L), nickel (> 2 mg/L), lead (7,4 and 6,5 mg/L), magnesium (> 2 mg/L).

From the foregoing, a regular and poor water quality was estimated in the different sampled areas, most affected by different anthropic factors, mainly domestic and industrial water discharges. Finally, this made it possible to indicate a progressive

deterioration of the Ambato River in an annual period, in addition to suggesting constant evaluations of the quality of the water resource. waters.

**Keywords:** Pollution, Environmental, Water pollution, Quality of the water, Anthropogenic pollutants, Ambato River.

# **1. CAPÍTULO I**

## **1.1. Introducción**

El agua es un recurso vulnerable debido a muchos factores poblacionales y a sus actividades productivas, lo que contribuye a la disminución de calidad de esta, imposibilitando el consumo directo y uso en diversas actividades por parte de personas cercanas a fuentes de agua como son los ríos. Ecuador es uno de los países con mayores reservas de agua en la región. Sin embargo, su mal manejo e inequitativa distribución generan serios conflictos ambientales, sociales y económicos. La contaminación del agua es otro factor que influye tanto en la disponibilidad del recurso para el consumo humano; así como en la subsistencia de especies de plantas y animales que dependen de éste [1].

Las actividades humanas como la agricultura, la expansión residencial, el desarrollo de embalses, así como las alteraciones hidrológicas de los cuerpos de agua pueden cambiar sus condiciones ambientales y afectar así la presencia de macroinvertebrados acuáticos [2]. Con relación a la actividad agrícola esta no sólo afecta al funcionamiento de los ecosistemas hídricos, sino también genera un grave impacto ambiental sobre los páramos, los cuales cumplen funciones ambientales de suma importancia como la regularización del caudal de los ríos [3].

El impacto ambiental por efecto de la agricultura tiene su base en el uso de agroquímicos empleados para aumentar el rendimiento de cultivos y mejorar su calidad al impedir pérdidas por afectación de plagas. Por ejemplo, de acuerdo con el autor [4], dentro de estos compuestos se encuentran los plaguicidas, y estos causan problemas cuando con el paso del tiempo se desarrolla resistencia por parte de las plagas lo que hace que agricultores busquen la manera de aprovecharlos a través del aumento de la dosis y frecuencia de uso, llegando a emplear mezclas de varios productos, esta problemática ha generado demanda de nuevos productos más potentes. Aunado a esto, estos compuestos se consideran contaminantes orgánicos persistentes ya que se transportan por medio del agua y el aire, llegando a lugares donde no han sido usados e incluso se adhieren en tejidos con repercusión de ingresar a la cadena trófica.

Por otro lado, las fuentes de agua se ven afectadas por diversos factores que alteran su calidad, pudiendo encontrarse contaminantes de tipo físico, químico y biológico, es así como, en base a lo mencionado por el Programa Mundial de Ambiente de las Naciones

Unidas, United Nations Environment Programme, (UNEP), aproximadamente el 15% de los ríos en Asia, África y Latinoamérica tienen elevados niveles de contaminación biológica de tipo patógena [5]. La fuente de contaminación patógena principalmente proviene según los autores [6], de aguas residuales domésticas que contienen microorganismos de materia fecal, otra fuente son los residuos de la actividad agrícola y materia fecal animal. Ahora bien, la calidad del agua de los ríos se puede determinar en base a parámetros fisicoquímicos que pueden ser indicadores de contaminaciones por descargas de aguas residuales, efluentes industriales o agrícolas tales como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto (OD), potencial redox (ORP), concentraciones en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sulfuros ( $\text{S}^{2-}$ ), fluoruros ( $\text{F}^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos totales (ST), entre otros [1].

La cuenca del río Ambato, ubicada mayoritariamente en la Provincia de Tungurahua a lo largo de los años ha atravesado una problemática social causada, principalmente, por la falta de regularidad de las precipitaciones y caudales, con efecto en el deterioro de las condiciones de vida de la población [7]. En el cantón Ambato una parte de la población se ve afectada por el consumo y uso de agua de cierta forma contaminada proveniente del río, ya que los habitantes de comunidades cercanas al río se abastecen de este líquido sin tratamiento previo adecuado presentando serios problemas gastrointestinales. La contaminación en el río Ambato puede llegar a representar una amenaza en la salud pública debido a los niveles de toxicidad remanentes de este recurso por diversos factores entre ellos los naturales, como proceso de meteorización, erupciones volcánicas, transporte aéreo de partículas nocivas y factores propios de actividades antrópicas como la agricultura, vertido de residuos domésticos e industriales, residuos sintéticos arrojados al río, lo que hace imprescindible la búsqueda de alternativas que permitan disminuir la contaminación en el río.

Dentro de los métodos para el análisis de la calidad de aguas se consideró aplicar la determinación de parámetros fisicoquímicos ya que permiten conocer las propiedades de un cuerpo de agua en procesos de monitoreo continuo, mediante metodología sencilla y confiable, cuyos datos pueden ser comparados con niveles máximos permisibles establecidos en normativa ambiental vigente de calidad. Es así como la caracterización

fisicoquímica del agua proveniente del río Ambato, permite la comparación entre las diferentes muestras de agua obtenidas a lo largo de la cuenca del río, además permite analizar dichos resultados y aplicar con base a ellos, índices de calidad, los cuales permiten posteriormente sugerir la aplicación de una política de gestión ambiental para la utilización de dicha agua.

Cabe señalar que el organismo regulador de la normativa ambiental en Ecuador es el Ministerio del Ambiente el mismo que a través de diversos medios lleva a cabo el control y vigilancia para el cumplimiento de las normas entorno al medio ambiente y sus elementos que permiten el goce del Buen Vivir. Es así como el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece unas guías sobre los cuerpos de agua y señala los procedimientos para el manejo e inspección de aguas, así también se encuentra el Acuerdo Ministerial Registro Oficial Edición Especial N°387 Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

La investigación consideró el análisis de trabajos previos sobre la calidad del agua en el río Ambato, por lo que forma parte de la fase 2 del programa de monitoreo del trabajo de investigación llevado a cabo por la autora [8], “*Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato*”, donde se registraron mayormente valores por encima de los límites permisibles con base a la normativa TULSMA y a su vez durante el monitoreo se destacó la presencia de actividades antrópicas que conllevan en la descarga de aguas residuales y desechos no tratados provenientes del sector doméstico e industrial, siendo el curso medio y bajo del río el que se ha visto mayormente afectado durante un año. Por esta razón, el estudio tiene como fin determinar el efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato considerando las variables de estudio como variable dependiente a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, y variable independiente, el desarrollo de las fases de muestreo. Dentro de la estructura del estudio para la toma de muestras se tomó la guía de las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN NTE 2176 y 2226 [9] [10] , por otra parte el análisis de resultados se realizó mediante la compararon con valores de referencia del Acuerdo Ministerial No. 387 [11] sobre calidad admisible para la preservación de la flora y fauna en aguas frías dulces, a su vez las medias de los resultados se analizaron con pruebas estadísticas de

análisis de varianza de un factor a un nivel de significancia de  $p=0,05$  para las dos fases de muestreo. Finalmente, la valoración de la calidad del agua se agrupó en la determinación del índice de calidad de agua (ICA) propuesta por la NSF [12].

## **1.2. Justificación**

Las diferentes actividades antrópicas urbanas y rurales han generado un alto impacto ambiental en los ríos del Ecuador, debido a que el aporte de contaminación por parte de estas actividades sobrepasa la capacidad de resiliencia ecológica de los mismos. Es importante tener en cuenta que los ecosistemas acuáticos son muy susceptibles frente a cualquier alteración y los ríos no son la excepción [1].

El propósito de esta investigación es determinar cómo influye la actividad antropológica en las características fisicoquímicas del río Ambato, ya que estas actividades provocan contaminación a lo largo del río, principalmente el desarrollo la actividad industrial y la generación de sus desechos en la ciudad ha incrementado la polución de estas aguas. A pesar de que existen varios estudios sobre la calidad del agua, se consideró necesario realizar este análisis dada la importancia del río Ambato para la región, el presente estudio se enfocó en evaluar desde el punto de vista fisicoquímico, la calidad del agua de la cuenca, ya que a medida que transcurre el tiempo las poblaciones van creciendo por ende sus efectos en el ambiente van siendo más destructivos como es la actividad agrícola, industrial y doméstica, así mismo la calidad de agua se ve afectada por condiciones naturales como erupciones volcánicas y la presencia de microorganismos. A través de esta investigación se podrá determinar las condiciones del río en cuanto a índices de calidad en las dos fases de muestreo con relación a estudios realizados anteriormente.

Una forma de conocer la condición de un cuerpo de agua es través de su composición fisicoquímica, la misma que determina su calidad e influye de forma directa en el ecosistema acuático y en la salud de quienes la consumen, por esto se consideró importante llevar a cabo la continuación de un programa de monitoreo del río Ambato de forma que permita determinar la concentración de ciertos parámetros como pH, alcalinidad, dureza, sedimentos materia orgánica, presencia de metales pesados entre otros, los cuales inciden en los niveles de contaminación de agua y así llegar a generar propuestas como medidas de mitigación que se puedan aplicar para mejorar las condiciones ambientales de los sectores aledaños a la cuenca del río Ambato y por ende llegar a un mejoramiento de la calidad del agua.

## **2. CAPITULO II**

### **2.1. Estado del arte**

#### **2.1.1. Características físico, químicas y biológicas del agua**

El agua es esencial para la vida, ya que sin este recurso la biosfera presente en la superficie de la tierra no sería posible, también es considerado como el único compuesto químico conocido que se produce en los tres estados físicos como son, sólido (nieve, granizo, aguanieve y hielo), líquido (lluvia, gotitas de agua) y gas (vapores de agua) dentro de las condiciones de temperatura y presión de la superficie terrestre, el agua puede cambiar entre estas fases en un período de tiempo bastante corto. En un promedio, una molécula de vapor de agua en la atmósfera existirá en su fase gaseosa durante solo unos días antes de condensarse a gotas líquidas o cristales de hielo para formar nubes o niebla, de manera similar, las nubes y la niebla tienen vida útil limitada ya que se evaporan o precipitan en unas pocas horas desde su formación, todo este ciclo que involucra al recurso hídrico es de gran importancia ya que solo considerando el estado gaseoso, este regula la dinámica de la humedad atmosférica [13]. La mayoría de las fuentes de agua de la Tierra obtienen sus suministros de agua de esta precipitación. Por lo tanto, existe un intercambio continuo de humedad entre la tierra y la atmósfera, que constituye el ciclo hidrológico.

Este ciclo controla la distribución temporal y espacial de agua fresca renovable en forma de evapotranspiración, precipitación y escorrentía, sin embargo, los factores climáticos y sus cambios complican aún más la previsibilidad de esta distribución. El stock total de agua oceánica y agua dulce ha sido constante en toda la historia geológica, pero la proporción entre el agua oceánica y el agua dulce siempre cambia de acuerdo con los cambios climáticos, principalmente por las actividades antropogénicas. Además, el movimiento de agua a través del ciclo hidrológico tiene una influencia importante en la distribución de la lluvia y la modificación de la temperatura. El ciclo desempeña un papel vital en la creación de un clima habitable y la temperatura de moderación [14].

El agua cubre más del 70% de la superficie de la Tierra, de la cual el 97% está en el océano, que no es apto para el consumo humano y otros usos debido a su alto contenido de sal. Del tres por ciento restante, el 2% está bloqueado en las tapas y los glaciares polares y solo el 1% está disponible como agua dulce en ríos, lagos, arroyos, reservorios y agua subterránea que es adecuada para el consumo humano, de forma que un continuo suministro de agua limpia es esencial para la supervivencia y la salud de todos los organismos vivos [15].

Las características del agua se pueden clasificar en tres categorías amplias:

1. Características físicas: temperatura, color, olor, turbidez y sólidos.
2. Características químicas: pH, conductividad, salinidad, dureza, cuerpo.
3. Características biológicas: Cuenta de organismos y grupos específicos de organismos.

- **Características físicas:**

Las características físicas del agua (temperatura, color, sabor, olor y entre otros) están determinadas por los sentidos del tacto, la vista, el olor y el gusto. Por ejemplo, la temperatura por tacto, color, residuos flotantes, turbidez y sólidos suspendidos por la vista, sabor y olor.

**Temperatura:** es una medida de la energía promedio (cinética) de las moléculas de agua, su escala de medición es lineal, de grados Celsius o grados Fahrenheit.

Se considera como una variable básica de la calidad del agua, ya que de ella dependen algunos aspectos como, la fotosíntesis realizada por las algas y otras plantas acuáticas, la tasa metabólica de organismos, la sensibilidad de organismos a los desechos tóxicos, a parásitos y a enfermedades, la reproducción, migración, estanqueidad de organismos y la idoneidad del agua para varias formas de vida acuática, por ejemplo, la trucha y el salmón requieren una temperatura fría para la supervivencia y la reproducción. A su vez acorde a la ubicación geográfica, la temperatura media anual varía en el rango de 10 a 21°C con un promedio de 16°C, es así como, la temperatura afecta una serie de parámetros de calidad del agua, como el oxígeno disuelto, considerando que la solubilidad del oxígeno es menor en agua tibia que en agua fría [16].

**Color:** en el agua es principalmente una preocupación en referencia a su calidad por razón de salubridad y estética. Dado que el agua coloreada da la apariencia de no ser bebible, aún puede ser segura para otros usos. Además, la determinación del color del cuerpo de agua puede indicar la presencia de sustancias orgánicas, como algas o compuestos húmicos. Es así como, en los últimos tiempos, el color se ha utilizado como un indicador de la presencia de materiales orgánicos potencialmente peligrosos o tóxicos en el agua, también su determinación puede ayudar a estimar los costos relacionados con la decoloración del agua, existen diversas técnicas como coagulación, asentamiento y filtración que reducen o retiran el color del agua [17].

**Sabor y olor:** el gusto y el olor son percepciones humanas de la calidad del agua. La percepción humana del gusto incluye agrio (ácido clorhídrico), salado (cloruro de sodio),



dulce (sacarosa) y amargo (cafeína). Compuestos relativamente simples producen gustos agrios y salados, mientras que los gustos dulces y amargos se producen por compuestos orgánicos más complejos. El olor es percibido debido a la presencia de gases debido a la descomposición de materia orgánica o por sustancias agregadas a las aguas residuales. Este parámetro se puede medir a través de instrumentos especiales, como el medidor H<sub>2</sub>S portátil que mide la concentración de sulfuro de hidrógeno [17].

**Turbidez:** es una medida de las propiedades de transmisión de luz a través del agua y se compone de material suspendido y coloidal. La turbidez proporciona una estimación económica de la concentración total de sólidos en suspensión (TSS), además, es útil para definir la calidad del agua potable en el tratamiento del agua. La transparencia de los cuerpos naturales de agua se ve afectada por la actividad humana, presencia de materia vegetal en descomposición, las floraciones de algas, sedimentos suspendidos y nutrientes vegetales [18].

**Sólidos:** hace referencia a varios compuestos que permanecen en los cuerpos de agua entre ellos están los sólidos disueltos totales (TDS), que son sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica presente en solución, entre ellas son generalmente cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio, carbonato, cloruro, sulfato y aniones de nitrato [18].

Los sólidos se clasifican como sólidos asentables, suspendidos y filtrables. Los sólidos asentables (limo y sólidos orgánicos pesados) son los que se forman por influencia de la gravedad. Los sólidos suspendidos y los sólidos filtrables se clasifican según el tamaño de las partículas y la retención de sólidos suspendidos en filtros estándar de fibra de vidrio.

La importancia de los sólidos suspendidos en el agua es fundamental, por diversas razones, ya que los sólidos pueden influir en el crecimiento de algas que desencadenan condiciones eutróficas graves en cualquier cuerpo de agua, también interfieren con la vida vegetal acuática, la deposición de estos en la cama de ríos y lagos puede dar lugar a condiciones sépticas y ofensivas que pueden relacionarse con la presencia de descargas de efluentes de aguas residuales insatisfactorias. La forma de determinar el contenido total de sólidos en agua se da al medir el residuo que permanece después de la evaporación del agua mientras se seca el residuo a un peso constante y de 103 a 105 °C [16].

## - **Características químicas**

Los problemas de salud asociados con los constituyentes químicos del agua surgen principalmente de la capacidad de dichos constituyentes para causar efectos adversos en la salud después de un tiempo de exposición prolongado, mientras que hay unos pocos constituyentes químicos que pueden llegar a constituirse como problemas para la salud resultantes de una sola exposición. Sin embargo, pueden ocurrir un número apreciable de problemas de salud graves como resultado de la contaminación química del agua. Las principales propiedades químicas del agua se discuten a continuación:

**Potencial de Hidrógeno:** el pH es una medida de cuán ácida o básica es el agua, a través del registro negativo de la concentración de iones de hidrógeno expresados en una escala de pH logarítmica que oscila entre 0 (muy ácida) a 14 (muy alcalina). Para cada incremento de número entero (es decir, 1 a 2), la concentración de iones de hidrógeno disminuye diez veces y el agua se vuelve menos ácida. El rango de pH natural en aguas frescas se extiende desde alrededor de 4,5 para aguas ácidas, a más de 10,0 en aguas donde hay una intensa actividad fotosintética por algas. Sin embargo, el rango más frecuentemente encontrado es 6,5-8,0. Los cambios en el pH pueden alterar las concentraciones de otras sustancias en el agua volviéndose a una forma más tóxica. Ejemplos de factores que son susceptibles a los cambios de pH son la toxicidad del amoníaco, la eficiencia de desinfección del cloro y la solubilidad en metal [17].

**Conductividad eléctrica:** la conductividad del agua es una expresión de su capacidad para realizar una corriente eléctrica como resultado de la ruptura de los sólidos disueltos en iones cargados positivamente (sodio  $\text{Na}^+$ , calcio  $\text{Ca}^{+2}$ , potasio  $\text{K}^+$  y magnesio  $\text{Mg}^{+2}$  y negativamente (cloruro  $\text{Cl}^-$ , sulfato  $\text{SO}_4^{-2}$ , carbonato  $\text{CO}_3^{-2}$  y bicarbonato  $\text{HCO}_3^-$ ). Los nitratos ( $\text{NO}_3^{-2}$ ) y los fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) son contribuyentes menores de la conductividad, aunque son muy importantes biológicamente. La conductividad es un indicador del rango de dureza, alcalinidad y el contenido de sólidos disueltos del agua. Así mismo, la conductividad varía de acuerdo con la fuente de agua: agua subterránea, agua drenada de campos agrícolas, aguas residuales municipales, aguas lluvias [17].

**Salinidad:** es una medida de la cantidad de sales en el agua. Debido a que los iones disueltos aumentan la salinidad, así como la conductividad, las dos medidas están relacionadas. Las sales en agua de mar son principalmente cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ). Sin embargo, otras aguas salinas deben su alta salinidad a una combinación de iones disueltos que incluyen sodio, cloruro, carbonato y sulfato.

Las sales y otras sustancias afectan la calidad del agua utilizada para riego o consumo, también tienen una influencia crítica en la biota acuática, y cada tipo de organismo tiene un rango de salinidad típico que puede tolerar. La presencia de un alto contenido de sal puede hacer que el agua sea inadecuada para el uso doméstico, agrícola o industrial. Además, la composición iónica del agua puede ser crítica [17].

**Alcalinidad:** es una medida de la capacidad del agua para neutralizar los ácidos y refleja su capacidad de amortiguamiento, también puede atribuirse a la presencia de carbonatos e hidróxidos. La alcalinidad del agua natural se debe generalmente a la presencia de bicarbonatos formados en reacciones en los suelos a través de los cuales el agua se filtra. Tiene importancia para diversos aspectos entre ellos en el caso de los peces y la vida acuática, los protege contra los cambios rápidos de pH. Los organismos vivos, especialmente acuáticos, funcionan mejor en un rango de pH de 6,0 a 9,0. Los niveles de alcalinidad más altos en aguas superficiales pueden amortiguar la lluvia ácida y otros desechos, esto inhibe los cambios dañinos de pH para la protección de la vida acuática. La alcalinidad en los arroyos está influenciada por rocas y suelos, sales, ciertas actividades de plantas y ciertas descargas industriales de aguas residuales. Los lagos de nutrientes bajos (oligotróficos) tienden a tener una alcalinidad más baja, mientras que los lagos de nutrientes altos (eutróficos) tienen una tendencia de alcalinidad más alta [17].

**Dureza:** es una característica natural del agua que puede mejorar su palatabilidad y aceptación del consumidor para fines de consumo. La dureza del agua se debe a la presencia de minerales de calcio y magnesio que están naturalmente presentes en el agua. Los signos comunes de un suministro de agua dura, es que son pobres en espuma de jabones y escoria. La dureza se compone de dos partes: dureza temporal (carbonato) y permanente (no carbonato). La dureza temporal del agua se puede quitar fácilmente hirviendo el agua [17].

**Iones importantes en el agua:** hay varios tipos de iones trazados en el suministro de agua que influyen en la naturaleza química y representan la mayor parte del contenido de minerales de agua natural. La mayoría de los productos químicos inorgánicos disueltos en agua dulce se producen como iones [17].

**Cationes:** corresponden a varios iones disueltos como el sodio, cuyo valor generalmente se considera de importancia para la salud de los individuos. Las sales de sodio son generalmente altamente solubles en agua y se lixivian desde el ambiente terrestre hasta el agua subterránea y el agua superficial. El potasio es un elemento nutricional esencial en

los suministros de agua potable, pero en sus cantidades excesivas, actúa como un laxante. El calcio es esencial para la nutrición humana y un elemento clave en la formación de dientes y huesos. También se conoce como piedra caliza y es una causa de dureza del agua. El magnesio es uno de los elementos más comunes de la corteza terrestre. Los sulfatos de magnesio a concentraciones muy altas pueden tener un efecto laxante en algunas personas. También da un sabor desagradable a alta concentración [17].

**Aniones:** entre ellos el cloruro en el agua potable generalmente no es perjudicial para la salud humana, excepto cuando está presente en altas concentraciones. La alta concentración puede ser perjudicial para los pacientes con enfermedades renales y del corazón. La restricción sobre las concentraciones de cloruro en agua potable se determina mediante los requisitos de sabor.

El agua con contenido de sulfato objetable puede tener un sabor amargo. También contribuye a problemas de olores.

El bicarbonato excesivo se suma a la salinidad y el contenido total sólido del agua, mientras que el contenido de carbonato de agua también se puede considerar como la dureza temporal del agua, ya que se puede eliminar fácilmente por ebullición.

**Nitratos:** estos compuestos incluso en concentraciones bajas pueden causar problemas de salud a los bebés de seis meses de edad o menos mujeres embarazadas al afectar la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre [16].

**Metales pesados:** se refieren a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso a baja concentración. Algunos ejemplos de metales pesados son el Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), Níquel (Ni), cobre (Cu), cobalto (Co) y plomo (Pb), entre otros. Forman parte de los componentes naturales del entorno geológico, entran en el cuerpo humano a través de alimentos, agua potable y aire en menor medida. Algunos metales pesados (por ejemplo, cobre, selenio, zinc) son necesarios para mantener el metabolismo del cuerpo humano como elementos de rastro. Sin embargo, pueden ser venenosos en concentraciones más altas que conducen a diversas enfermedades graves [19].

**Oxígeno disuelto:** es la cantidad de oxígeno gaseoso ( $O_2$ ) disuelto en una solución acuosa, producto de la difusión del aire circundante, por aireación (movimiento rápido) y como producto de residuos de la fotosíntesis. La mayoría de los organismos acuáticos necesitan el oxígeno en forma disuelta para sobrevivir y crecer. Los organismos tales

como truchas requieren alta cantidad de oxígeno a diferencia de otras especies como el bagre, los gusanos y las libélulas que pueden sobrevivir en una cantidad algo menor. La ausencia de suficiente cantidad de oxígeno en agua puede llevar a la muerte de peces adultos y jóvenes, reducción de crecimiento, fracaso de los huevos/ larvas para sobrevivir, así como también la disminución de especies presentes en un cuerpo de agua [20].

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** la demanda biológica o bioquímica de oxígeno hace referencia a la cantidad de oxígeno disuelto requerido por organismos biológicos aeróbicos para degradar el material orgánico presente en un cuerpo de agua a cierta temperatura durante un período de tiempo específico. Ampliamente utilizado como una indicación de la calidad orgánica del agua y, por lo tanto, representa la carga de la contaminación, se expresa más comúnmente en miligramos de oxígeno consumido por litro de muestra durante 5 días (DBO<sub>5</sub>) a temperatura de incubación de 20 ° C. Cuando la materia orgánica se descompone, los microorganismos (como las bacterias y los hongos) se alimentan de este material en descomposición y, finalmente, la materia se oxida. Cuanto más difícil trabajen los microorganismos, más oxígeno se utilizará dando una alta medida de DBO, dejando menos oxígeno para otra vida en el agua [18].

**Demanda Química de Oxígeno:** la demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en el cuerpo de agua en condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. La DQO es un parámetro importante de calidad de agua, ya que proporciona un resultado para evaluar el efecto que tendrá la base de aguas residuales descargadas en un entorno receptor. Los niveles más altos representan la presencia de mayor cantidad de material orgánico oxidable en la muestra, cuya degradación conducirá nuevamente a condiciones hipóxicas en el cuerpo del agua [16].

#### - **Características microbiológicas**

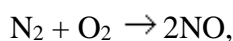
Los principales grupos de microorganismos en el agua natural incluyen protistas, plantas y animales. En general, muchas bacterias, virus y protozoos son organismos causantes de algunas de las enfermedades más virulentas que se transmiten a los humanos directamente a través del agua e indirectamente a través de alimentos contaminados. En lugar de análisis específicos, se han utilizado organismos para determinar las características biológicas de las aguas naturales, como por ejemplo *Escherichia Coli* se usa comúnmente como organismo indicador, este organismo está presente en el intestino de animales de

sangre caliente, incluidos los humanos. Por tanto, la presencia de *Escherichia Coli* en muestras de agua indica la presencia de materia fecal y luego la posible presencia de organismos patógenos de origen humano [17].

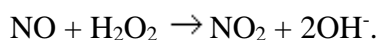
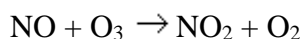
#### - **Características biológicas**

En un ecosistema acuático típico los materiales vegetales y animales están compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Estos elementos son los componentes básicos de los carbohidratos, lípidos, proteínas, fosfolípidos y ácido nucleico.

Las proteínas y los ácidos nucleicos consisten en nitrógeno, elemento que los organismos requieren en mayor cantidad después del carbono y el oxígeno. El amoníaco (NH<sub>3</sub>), el nitrito (NO<sup>2-</sup>), el nitrato (NO<sup>3-</sup>) y el gas nitrógeno (N<sub>2</sub>) son compuestos importantes que contienen nitrógeno en los sistemas acuáticos. La atmósfera es el depósito de nitrógeno. El óxido nítrico (NO) se forma durante la combustión de combustible a altas temperaturas:



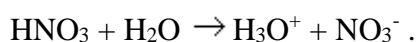
No reacciona fácilmente con el ozono y los peróxidos en la atmósfera:



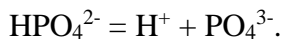
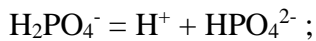
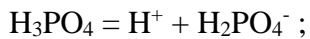
NO<sub>2</sub> reacciona con OH<sup>-</sup> en el aire para formar ácido nítrico:



El ácido nítrico es un ácido muy fuerte, con un gran Kw = 10<sup>1</sup>, que da como resultado una disociación muy rápida tan pronto como entra en contacto con el agua de la atmósfera:



Todas las materias vivas contienen fósforo, pero su concentración en muchos ambientes acuáticos naturales es baja. El ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), que no es muy volátil, puede perder hasta 3 H<sup>+</sup>:



El sulfato se encuentra en el agua natural como azufre orgánico, sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), azufre elemental ( $\text{S}$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) es tóxico para muchos organismos y es una fuente de olor en el agua. Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) también puede combinar y precipitar metales pesados como hierro, zinc y cobalto. Estos elementos metálicos son necesarios para el crecimiento bacteriano, por lo tanto, niveles altos de  $\text{H}_2\text{S}$  pueden inhibir el crecimiento [17].

### **2.1.2. Propiedades del agua**

Una molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) está formada por tres átomos, un oxígeno y dos átomos de hidrógeno. En cada molécula de agua, el átomo de oxígeno tiene carga negativa, mientras que el extremo de hidrógeno tiene carga positiva formando un solo enlace covalente polar que hace que el agua sea polar en la naturaleza. Sin embargo, el agua es neutra, ya que tiene un número igual de electrones y protones que le dan una carga neta cero [16]

El agua tiene una variedad de propiedades inusuales debido a las atracciones entre estas moléculas polares, es así como las regiones ligeramente negativas de una molécula se sienten atraídas por las regiones ligeramente positivas de las moléculas cercanas, formando un enlace de hidrógeno. Cada molécula de agua puede formar enlaces de hidrógeno con hasta cuatro moléculas vecinas [21].

Las propiedades clave del agua son el momento del dipolo, la constante dieléctrica, la capacidad de calor y su capacidad para donar y aceptar protones. Es por ello que, la molécula de agua tiene la capacidad de formar un puente de hidrógeno consigo misma, a un enlace de hidrógeno con ambos donantes de protones y aceptadores de protones, para disociarse, coordinar con iones y otros dipolos, y además para almacenar y transportar calor [16].

### **2.1.3. Calidad Ambiental del agua**

La calidad del agua es un factor de primera necesidad por lo que se convierte en una preocupación para la humanidad, ya que está directamente relacionada con el bienestar humano.

Las características de la calidad del agua de los entornos acuáticos surgen de una multitud de interacciones físicas, químicas y biológicas, por lo que los cuerpos de agua, como los ríos, lagos y estuarios, están continuamente en estado dinámico con respecto a su edad geológica y características geoquímicas. Este equilibrio dinámico del sistema acuático se ve afectado por las actividades humanas que conducen a la contaminación que se manifiesta dramáticamente en la pérdida de vida de peces, sabor y olor no característico del agua. De forma que, las características fisicoquímicas del cuerpo del agua tienen influencia directa en los tipos y distribución de la biota acuática [21].

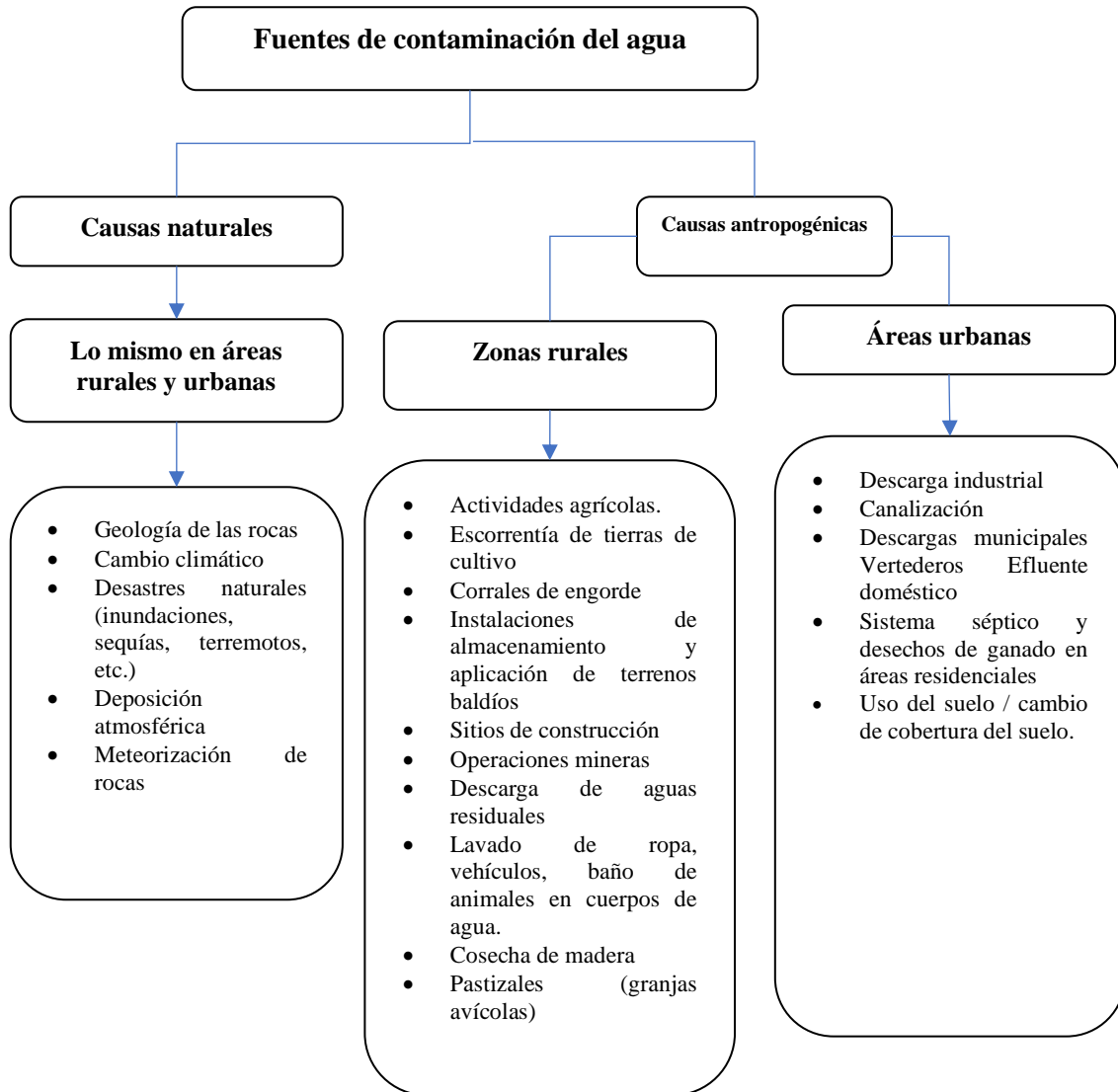
En el contexto de la influencia de las actividades humanas en la calidad del agua, la agricultura es considerada el principal consumidor y uno de los principales contaminantes de los recursos hídricos, siendo la salinidad y la contaminación por nitratos los principales indicadores de contaminación del agua. Según el autor [22], bajo determinadas condiciones propias del clima y del suelo, el uso excesivo o inadecuado manejo de fertilizantes, puede conducir al enriquecimiento de las fuentes hídricas que favorece la eutrofización de sus aguas, con graves daños al medio ambiente y a la salud humana.

En general, la calidad del agua se define principalmente por su composición física, química, biológica y radiactiva, es decir por los efectos que sus constituyentes pueden causar al medio ambiente. Considerando que ciertos usos requieren un estricto control de la calidad del agua; además, los estándares de calidad para el consumo humano, la industria y el riego varían enormemente. Como resultado de sus usos y considerando sus características, varias organizaciones han establecido normas y estándares específicos de calidad del agua [23].

La calidad de las aguas subterráneas o superficiales es una función de las influencias naturales y las actividades humanas, ya sea de forma individual o colectiva. Sin la influencia humana, la calidad del agua se vería influida únicamente por procesos naturales como la meteorización de los minerales del lecho rocoso, procesos atmosféricos que involucran evapotranspiración, deposición de polvo y sal por el viento, lixiviación natural de materia orgánica y nutrientes del suelo, factores hidrológicos que conducen a la escorrentía y procesos biológicos en el medio acuático que pueden provocar cambios en la composición física y química del agua. Por tanto, el agua en el entorno natural puede contener sustancias disueltas, así como materia particulada no disuelta [24].



Los minerales y las sales disueltas son componentes necesarios del agua de buena calidad, ya que ayudan a mantener la salud y la vitalidad de los organismos que dependen de este servicio del ecosistema.



**Figura 1.** Fuentes de contaminación del agua

**Fuente:** Khatri & Tyagi [25].

Son varios los aspectos que se pueden analizar entorno a la calidad de las aguas, es así que, esta se ve afectada por fuentes de contaminación tanto puntuales como difusas en las zonas rurales y urbanas. Algunas de estas fuentes incluyen descargas de aguas residuales, descargas industriales y escorrentías agrícolas. En cierto grado también se ve afectada por las inundaciones y las sequías, así como por la falta de conciencia entre los usuarios finales, volviéndose necesario considerar aspectos como la higiene, el saneamiento

ambiental, el almacenamiento y la eliminación para el mantenimiento de los recursos hídricos.

La calidad del agua se encuentra entre los factores más importantes que afectan la salud y seguridad de sus usuarios y la idoneidad para su utilización en varios aspectos [26]. La calidad insuficiente se debe a una creciente contaminación de las aguas superficiales, principalmente en los ríos, como resultado de la descarga de aguas residuales municipales e industriales y la escorrentía superficial que transporta grandes cantidades de fertilizantes de los campos agrícolas [27].

#### **2.1.4. Factores que afectan la calidad del agua**

La calidad del agua superficial es una de las preocupaciones ambientales más críticas en muchas partes del mundo. El autor [28] afirmó que el agua superficial consiste en toda el agua que fluye a través de masas de tierra como arroyos, manantiales, lagos, ríos y océanos. En cualquier momento, la química del agua superficial de un río refleja varias influencias notables, incluidas las aportaciones atmosféricas, la litología de la cuenca, las aportaciones antropogénicas y las condiciones climáticas [19].

Las actividades naturales (erosión) y antropogénicas (descargas agrícolas, industriales y domésticas) afectan la calidad de las aguas superficiales regionales. Según el autor [29], los desechos de cultivos, desechos sólidos degradables y desechos de alimentos contribuyen al contenido orgánico de las aguas superficiales. Los nutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) provocan el crecimiento de algas y fitoplancton, lo que conduce a la eutrofización.

En la mayoría de los casos, la calidad del agua en las cuencas está sujeta a cambios temporales y espaciales y, dependiendo de la especificidad de la cuenca o región, estos cambios son el resultado de varias combinaciones de factores naturales y/o antropogénicos [30].

Los factores naturales incluyen la estructura geológica, las diferencias estacionales en los volúmenes de escorrentía, las condiciones climáticas, los niveles y flujos de agua, la cobertura del suelo y el ciclo de crecimiento. Entre los factores antropogénicos, se puede mencionar el uso de la tierra, que a su vez afecta el tipo, número y ubicación de las fuentes de contaminación puntuales y difusas [31].

### **2.1.5. Contaminación del Agua**

El agua de calidad es fundamental para el equilibrio ecológico y el desarrollo económico, teniendo en cuenta que la escasez de agua va en aumento, surge de ahí la necesidad de una adecuada planificación, seguimiento y gestión del agua como recurso natural. Los ríos se encuentran entre los cuerpos de agua más antiguos del mundo, y su contaminación se ha convertido en un problema importante al que se enfrentan la mayoría de las naciones en desarrollo [32].

La explotación de recursos por parte de la creciente población mundial es una de las causas de la contaminación. Además, la agricultura, el alcantarillado, la industria, las aguas residuales domésticas y otras actividades económicas son algunas de las causas comunes de contaminación del agua. Las investigaciones de muchas partes del mundo han demostrado una correlación entre el aumento de las actividades antropogénicas, la contaminación y la disminución de la calidad de las aguas [33].

Las aguas superficiales (ríos, arroyos y lagos, entre otros) están cada vez más contaminadas con desechos domésticos, agrícolas e industriales. La escorrentía de carreteras y superficies impermeables es una fuente importante de contaminación del agua, ya que recoge gasolina, aceite de motor, metales pesados, basura y otros contaminantes que se lavan directamente en arroyos y ríos [34].

El estándar de gestión de desechos es deficiente y obsoleto en muchas poblaciones, con poca o ninguna documentación sobre las tasas y la composición de la generación de desechos. Los problemas de contaminación del agua se atribuían principalmente a los efluentes industriales y por lo tanto, se pensaba que era una preocupación solo para los países industrializados, actualmente es un problema global, ya que el desarrollo y la industrialización han tomado diferentes formas y se han extendido universalmente [35].

Las masas de agua dulce que reciben efluentes generalmente se caracterizan por cargas de demanda bioquímica de oxígeno superiores a la media, así como altas concentraciones de iones principales y metales pesados. Sin embargo, la fuente y la naturaleza de la contaminación varían de un río a otro. La gestión ineficaz e insuficiente de los desechos es uno de los problemas ambientales más urgentes que enfrentan muchas ciudades del mundo en desarrollo. Las actividades humanas afectan los ríos y las vidas acuática. Los ríos y arroyos son únicos, y la calidad de un ecosistema acuático depende de las cualidades fisicoquímicas del agua y la diversidad biológica del sistema [32].

### **2.1.5.1. Fuentes de contaminación del agua**

Los contaminantes del agua pueden provenir de fuentes puntuales o de fuentes dispersas. Un contaminante de fuente puntual es aquel que llega al agua de una sola tubería o canal, como una descarga de aguas residuales o una tubería de desagüe. Las fuentes dispersas son áreas amplias y no confinadas desde las cuales los contaminantes ingresan a una masa de agua. La escorrentía superficial de las granjas, por ejemplo, es una fuente dispersa de contaminación, que transporta desechos animales, fertilizantes, pesticidas y sedimentos a los arroyos cercanos. El drenaje de aguas pluviales urbanas, que puede transportar arena y otros materiales arenosos, residuos de petróleo de automóviles y productos químicos para descongelar las carreteras, también se considera una fuente dispersa debido a los muchos lugares en los que ingresa a arroyos o lagos locales. Los contaminantes de fuente puntual son más fáciles de controlar que los contaminantes de fuente dispersa, ya que fluyen a un solo lugar donde los procesos de tratamiento pueden eliminarlos del agua. Por lo general, este control no es posible sobre los contaminantes de fuentes dispersas, que causan una gran parte del problema general de contaminación del agua [36].

La contaminación del agua de fuentes dispersas se reduce mejor mediante la aplicación de planes de uso de la tierra y estándares de desarrollo adecuados. Los tipos generales de contaminantes del agua incluyen organismos patógenos, desechos que demandan oxígeno, nutrientes de plantas, químicos orgánicos sintéticos, químicos inorgánicos, microplásticos, sedimentos, sustancias radioactivas, aceite y calor. Las aguas residuales son la fuente principal de los tres primeros tipos. Las granjas e instalaciones industriales también son fuentes de algunos de ellos. El sedimento de la capa superficial del suelo erosionada se considera un contaminante porque puede dañar los ecosistemas acuáticos, y el calor (particularmente del agua de enfriamiento de las centrales eléctricas) se considera un contaminante debido al efecto adverso que tiene sobre los niveles de oxígeno disuelto y la vida acuática en ríos y lagos [36].

### **2.1.5.2. Principales contaminantes**

#### **2.1.5.2.1. Material orgánico**

La cantidad de materia orgánica putrescible en las aguas residuales está indicada por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), cuanta más materia orgánica hay en las aguas residuales, mayor es la DBO. Es uno de los parámetros más importantes para el diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales industriales pueden tener niveles de DBO muchas veces superiores a los de las aguas residuales

domésticas. La DBO de las aguas residuales pluviales es especialmente preocupante cuando se mezcla con las aguas residuales domésticas en los sistemas de alcantarillado combinados.

El oxígeno disuelto es un factor importante en la calidad del agua para los lagos y ríos. Cuanto mayor sea la concentración de oxígeno disuelto, mejor será la calidad del agua. Cuando las aguas residuales ingresan a un lago o arroyo, comienza la descomposición de los materiales orgánicos. El oxígeno se consume ya que los microorganismos lo utilizan en su metabolismo. Esto puede agotar rápidamente el oxígeno disponible en el agua. Cuando los niveles de oxígeno disuelto bajan, a un nivel de cero, el agua se volverá séptica. La descomposición de compuestos orgánicos sin oxígeno causa los olores indeseables generalmente asociados con condiciones sépticas o pútridas [28].

#### **2.1.5.2.2. Sólidos suspendidos**

Otra característica importante de las aguas residuales son los sólidos en suspensión. El volumen de lodos producidos en una planta de tratamiento está directamente relacionado con el total de sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales. Las aguas residuales industriales y pluviales pueden contener concentraciones más altas de sólidos en suspensión que las aguas residuales domésticas. La medida en que una planta de tratamiento elimina los sólidos en suspensión, así como la DBO, determina la eficiencia del proceso de tratamiento [36].

#### **2.1.5.2.3. Nutrientes vegetales**

Las aguas residuales domésticas contienen compuestos de nitrógeno y fósforo, dos elementos que son nutrientes básicos esenciales para el crecimiento de las plantas. En los lagos, cantidades excesivas de nitratos y fosfatos pueden provocar un rápido crecimiento de algas. Las floraciones de algas, a menudo causadas por descargas de aguas residuales, aceleran el envejecimiento natural de los lagos en un proceso llamado eutrofización [37].

#### **2.1.5.2.4. Microbios**

Las aguas residuales domésticas contienen millones de microorganismos por galón. La mayoría son bacterias coliformes del tracto intestinal humano y es probable que las aguas residuales domésticas también contengan otros microbios. Los coliformes se utilizan como indicadores de contaminación por aguas residuales. Un recuento alto de coliformes generalmente indica contaminación reciente por aguas residuales [36].

### **2.1.6. Contaminación de los ríos**

Los ríos se encuentran entre los ecosistemas de la tierra que tienen mayor influencia por la actividad humana. Estos sirven para el transporte, suministro de agua, generación de energía, también como fuente de alimentos y sumideros para los productos de desecho. Como resultado, en los países altamente industrializados y en algunos países en desarrollo, muchos ríos están ahora gravemente contaminados [38]. Los impactos más comunes son modificaciones de canales y riberas (es decir, canalización con fines de navegación o agrícolas, protección de riberas), regulación y fragmentación del flujo (es decir, presas y presas, embalses para suministro de agua, desviación para riego y fines industriales), contaminación química (como por ejemplo metales, pesticidas, fertilizantes) y contaminación orgánica (por ejemplo, aguas residuales domésticas y de cría de ganado) [39].

Los ríos fluyen a través de canales definidos de forma natural y en contacto constante con sus orillas, que gradualmente se lavan en el agua del río [40]. Todos los ríos se alimentan de escorrentías, de glaciares y hielo que se derriten a altas temperaturas, de arroyos contiguos, pantanos, lagos, manantiales, agua de lluvia, nieve, entre otros [41]. Debido a la importancia del agua como recurso natural, los asentamientos humanos han estado en las orillas de los ríos desde épocas pasadas en todo el mundo. La esencia del asentamiento a orillas del río es para los numerosos usos como transporte, riego, pesca, generación de energía, eliminación de residuos y agricultura [42]. Además, cada año los ríos (especialmente el agua dulce) desbordan sus riberas, lo que hace que las tierras de las riberas sean muy fértiles para el cultivo. La naturaleza de la contaminación del agua varía entre asentamientos rurales y urbanos. Si bien la contaminación del agua en los asentamientos rurales se debe a las actividades agrícolas normales y las escorrentías, la contaminación del agua urbana proviene principalmente de los desechos industriales [43]. Todo lo cual da como resultado una mala calidad del agua que requiere un tratamiento adecuado antes de su uso [44].

Todas estas alteraciones han llevado a una extensa degradación ecológica de estos ríos haciéndolos ya no sostenibles en la provisión de bienes y servicios (por ejemplo, disminución en la calidad y disponibilidad del agua, inundaciones intensas, cambios en la distribución y estructura de la biota acuática). El reconocimiento de estos efectos adversos en los sistemas fluviales ha impulsado iniciativas para la restauración de los ríos [45].

### **2.1.7. Análisis de las características fisicoquímicos de los ríos**

La salud de cualquier sistema de agua es una función de sus propiedades fisicoquímicas, lo que impacta en el comportamiento general del ecosistema. Las interferencias de los seres humanos pueden cambiar la química del sistema acuático, lo que puede provocar un cambio de comportamiento en términos de migración, reubicación del hábitat, canibalismo y comportamiento de alimentación general. Los ciclos de regeneración del agua y los procesos de depuración natural también dependen de los roles fisicoquímicos de las diferentes especies presentes en el agua, que si se permiten pueden manipular las características de las especies presentes (sin interferencias humanas) para preservar el estado natural del agua. Estos parámetros son responsables de las señales directas e indirectas de la situación del medio acuático y su capacidad de sustentar comunidades de organismos biológicos [46].

Tanto en los países altamente industrializados como en los menos desarrollados, es necesario desarrollar herramientas ecológicas prácticas y efectivas basadas en el ensamblaje biológico para monitorear la calidad de los recursos hídricos. Estas herramientas deben tener una base ecológica, ser eficientes, rápidas y ser aplicables de manera coherente a diferentes regiones ecológicas. Sin embargo, adaptar eficazmente tales herramientas en un área geográfica amplia requiere una comprensión detallada de los patrones de composición y distribución del ensamblaje de organismos dentro y entre cuerpos de agua en condiciones naturales y la naturaleza de los principales gradientes ambientales que causan o al menos explican estos patrones [47].

Esto permitirá obtener una respuesta de la biota acuática a los estresores humanos que se pueden discriminar de la variación natural. Para los ecosistemas acuáticos, los indicadores biológicos se pueden elegir entre muchos conjuntos (es decir, fitoplancton, macrófitos, invertebrados bentónicos o peces), pero los peces son de particular interés porque: 1) están presentes en la mayoría de los cuerpos de agua, 2) su taxonomía, requisitos ecológicos y vida. Las historias son generalmente más conocidas que las de otros conjuntos, 3) ocupan una variedad de niveles tróficos y hábitats, y 4) tienen valores tanto económicos como estéticos y, por lo tanto, ayudan a crear conciencia sobre el valor de la conservación de los sistemas acuáticos [39].

### **2.1.8. Actividades Antrópicas en los ríos**

Los desechos agrícolas, industriales y municipales han elevado aún más las concentraciones de nutrientes, oligoelementos y materia orgánica en los ríos [48]. Se ha demostrado que las distribuciones de los óxidos de los elementos principales y varios oligoelementos reflejan la procedencia y los procesos de meteorización y transporte actualmente establecidos, a pesar de los cambios de actividad, esquemas de muestreo dispares (para el lecho de sedimentos, sedimentos en suspensión y el regolito) y el complejo conjunto de fuentes de sedimentos. Otros han demostrado que los elementos cuyas distribuciones no pueden atribuirse totalmente a estos factores tienen una fuente antropogénica [49].

#### **2.1.8.1. Factores antropogénicos que afectan la calidad del agua en las zonas rurales**

La mayoría de los contaminantes que afectan la calidad del agua en las áreas rurales comprenden iones inorgánicos simples, moléculas orgánicas más complejas o partículas. Estos pueden provenir de diversas fuentes, incluidos los suelos y la vegetación en descomposición, pero también del estiércol animal. La escorrentía agrícola es una de las fuentes dispersas de contaminación que afectan la calidad del agua. Las actividades agrícolas que pueden causar contaminación incluyen malas prácticas de cría de animales; pastizales sobre pastoreados; incluida la aplicación inoportuna de plaguicidas, el arado de campos de regadío y la aplicación de fertilizantes [50]. Hay un acuerdo considerable en estudios recientes de que las cantidades de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales están significativamente influenciadas por aportes antropogénicos asociados con la cobertura terrestre, el uso de la tierra y las fuentes puntuales. Los contaminantes que resultan de la agricultura y la cría de ganado se componen de nutrientes, sedimentos, patógenos, pesticidas, metales y sales [25].

#### **2.1.8.2. Fuentes antropogénicas que afectan la calidad del agua en áreas urbanas**

La urbanización es una forma generalizada de alteración de la cobertura y el uso del suelo que está creciendo rápidamente [51]. Esto implica la conversión de tierras de cultivo, bosques, pastizales, pastos, humedales y otros tipos de cobertura a usos residenciales, de transporte, comerciales e industriales, aumentando así las áreas de superficies impermeables. Las superficies impermeables son indicadores cuantificables que se correlacionan muy estrechamente con aumentos en las fuentes difusas de escorrentía contaminada que degrada la calidad de los recursos acuáticos. Las zonas urbanas están



más contaminadas que las rurales debido a la industrialización, la descarga de aguas residuales y otras actividades domésticas. Las actividades humanas como la descarga de efluentes industriales y domésticos, el uso de productos químicos agrícolas, el uso de la tierra y los cambios de cobertura son los principales factores que influyen en la calidad del agua superficial [25].

El cambio en el uso y la cobertura de la tierra es una de las principales influencias antropogénicas en los ecosistemas y afecta el flujo del agua y la calidad de los ríos en particular. Los cambios en el patrón del paisaje inducidos por las actividades humanas tienen impactos importantes en las condiciones del río. El uso de la tierra y el cambio de la cobertura terrestre están fuertemente correlacionados con los parámetros de la química del agua, la diversidad de especies de peces de agua dulce y macroinvertebrados. Los usos del suelo urbano muy fragmentados, con una gran proporción de superficies impermeables, tienden a aumentar el caudal de los ríos y afectar negativamente la calidad del agua. El problema de la erosión del suelo es severo en algunas áreas debido al rápido desarrollo urbano de las últimas décadas [52]. De acuerdo con varios autores [53], encontraron que las captaciones urbanas estaban altamente correlacionadas con iones de amonio, fosfatos reactivos y sólidos en suspensión.

**Tabla 1.** Factores antrópicos en las zonas rurales y urbanas

<b>Zonas rurales</b>	<b>Áreas urbanas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrato y sulfato como resultado de fertilizantes utilizados en agricultura y efluentes de aguas residuales.</li> <li>• Sodio (Na<sup>+</sup>) y potasio (K<sup>+</sup>) en aguas subterráneas de fertilizantes químicos.</li> <li>• Cloruro de fertilizantes y fosas sépticas</li> <li>• La aplicación de fertilizantes, las descargas de aguas residuales y el</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación química</li> <li>• Los gases residuales, las aguas residuales y los residuos de desechos provocan un aumento de contaminantes como nitrógeno, fosfato, cloruro, sulfato, disolventes orgánicos y metales pesados.</li> <li>• Altos niveles de cloruro, nitrato, sulfato, sodio y potasio en el agua subterránea en áreas de construcción y cultivadas.</li> <li>• Sodio (Na<sup>+</sup>) en aguas subterráneas de plagioclasa en rocas de granito, fertilizantes químicos, efluentes domésticos, etc.</li> <li>• Potasio de fuentes contaminantes como fertilizantes químicos y efluentes domésticos.</li> </ul>

<p>hormigón de las construcciones, etc., son los factores que contribuyen al alto contenido de calcio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarga de las aguas residuales directamente a los cuerpos de agua.</li> <li>• Eliminación de desechos sólidos en ríos y otros cuerpos de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloruro de efluentes industriales y fertilizantes domésticos y fosas sépticas.</li> <li>• Las fuentes de sulfato incluyen la escorrentía de lluvia, fertilizantes, efluentes de aguas residuales y disolución de minerales sulfurados presentes en el granito.</li> <li>• El nitrato y el sulfato ingresan al agua subterránea a partir de efluentes de sistemas sépticos y desechos de ganado en áreas residenciales.</li> <li>• Se puede encontrar un alto contenido de sulfato en el agua de los ríos en áreas donde el suelo está formado por piedra caliza, mármol y yeso.</li> <li>• En las regiones nevadas, los agentes descongelantes como las sales de roca, que consisten principalmente en cloruro de sodio (NaCl), pueden filtrarse en los cursos de agua.</li> <li>• Otros agentes utilizados incluyen ferrocianuro, utilizado como agente antiaglomerante, e impurezas que consisten en oligoelementos (fósforo, azufre, nitrógeno, cobre y zinc).</li> <li>• Clorofluorocarbonos (CFC)</li> <li>• Las fuentes puntuales de contaminación con CFC disueltos en las aguas subterráneas incluyen la descarga de efluentes de aguas residuales, el sistema séptico localizado, los vertederos y los lixiviados de fabricación.</li> <li>• Las fuentes dispersas de CFC incluyen prácticas agrícolas y efluentes de aguas residuales de escorrentía urbana.</li> <li>• Compuestos orgánicos volátiles y Compuestos Clorofluorocarbonados (CFC). Se han identificado los vertederos y las plantas de fabricación como fuentes puntuales</li> </ul>
---	---

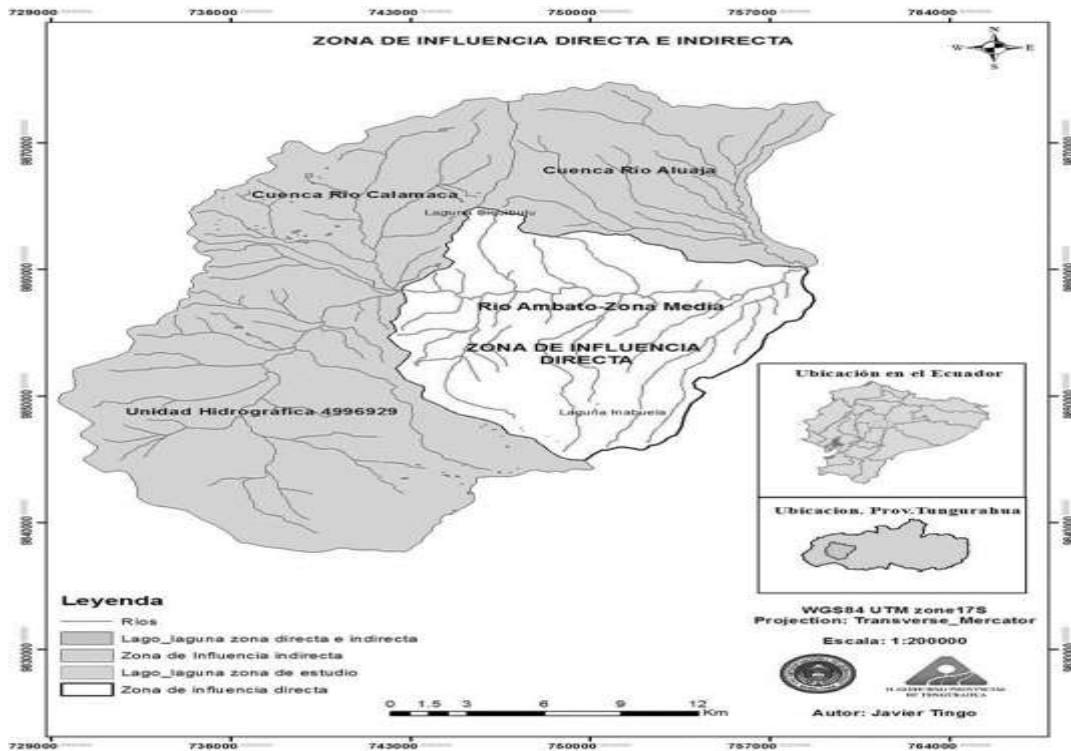
	<p>antropogénicas de CFC y otros COV asociados con la eliminación de aerosoles, removedores de pintura, agentes de limpieza en seco, agentes espumantes y refrigerantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación por metales pesados</li> <li>• Se ha demostrado que la escorrentía de áreas industriales y residenciales contiene Pb, Cu, Zn y Ni.</li> <li>• Las aguas residuales son una de las principales fuentes de nutrientes en las zonas costeras donde no existe tratamiento.</li> <li>• Las actividades de uso intensivo de la tierra afectan los aspectos hidrológicos, biológicos, químicos y geomórficos de los sistemas acuáticos.</li> <li>• Los cambios en el uso y la cobertura de la tierra son actividades antropogénicas importantes que influyen en el flujo del agua y la calidad de los ríos en particular.</li> <li>• Las actividades industriales, agrícolas y otras actividades antropogénicas a menudo conducen a un mayor aporte de metales en el suelo y el agua.</li> </ul>
--	---

**Fuente:** Khatri & Tyagi [25].

### **2.1.9. Cuenca hidrográfica del río Ambato**

La cuenca hidrográfica del río Ambato, cuenta con una extensión de 131.700 ha, que constituye el 38,4% de la superficie de la provincia de Tungurahua. Es parte del sistema hidrográfico de la cuenca alta del río Pastaza; ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes en la sierra central del Ecuador. Esta limita al norte con las unidades hidrográficas de los ríos Calamaca y Alajua, al sur con la unidad hidrográfica del río Pachanlica, al este en cambio con la quebrada Terremoto [12]. La cuenca alberga aproximadamente 320.315, sin considerar el crecimiento de la población de la última década. Este cubre 5 de los 9 cantones, con una densidad promedio de 130.9 hab./km<sup>2</sup> [54]. Las actividades antrópicas que se efectúan son principalmente son la agricultura y la ganadería en la zona rural,

además hay pequeñas poblaciones asentadas en los márgenes del río, por ejemplo, en la zona de transición entre el páramo de la Reserva Faunística del Chimborazo y la ciudad de Ambato [55].



**Figura 2.** Ubicación de la microcuenca del río Ambato y zonas de influencia directa e indirecta.

**Fuente:** Mendoza & Tingo [55].

En la ciudad de Ambato se han desarrollado diferentes investigaciones que analizan las características fisicoquímicas, la calidad del agua con bio-indicadores y la geomorfología del río Ambato. Un estudio desarrollado por Mendoza & Tingo [55], determinó que la geomorfología de una cuenca tiene influencia de manera directa en las condiciones biológicas, el autor aplicó cuatro índices: ICA de Montoya, ABI, ETP y BMWP/COL. En la zona de la microcuenca del río Ambato se evidencia 130 concesiones de agua para diferentes usos (SENAGUA), dispuestas de la siguiente manera: 70 concesiones para riego irrigando 13.243 Ha, 47 concesiones para consumo humano sirviendo a 180.358 habitantes, que representa el 54% del total de la población que pertenecen al cantón Ambato, 6 concesiones para abrevaderos y las 7 concesiones que se distribuyen entre actividades piscícolas, industrias y uso de agua termales. Los resultados evidencian que la zona alta tiene una calidad de agua aceptable, conforme avanza el río se presenta cierto grado de contaminación y en la zona más baja se hace más crítica. Concluyéndose, que

el agua de las zonas altas es apta para cualquier uso, mientras desciende el agua por los cauces de los afluentes las partes medias y bajas presentan contaminación, por las actividades antrópicas como: la agricultura, ganadería, la descarga sanitaria de los hogares y de las actividades industriales.

### **2.1.10. Demanda hídrica de la microcuenca del río Ambato**

El agua del río Ambato es utilizada para diferentes actividades productivas y en los hogares, la demanda hídrica se define en la Tabla 2, que determina que se emplea para el riego, uso doméstico e industrial.

*Tabla 2. Demanda hídrica de la microcuenca del río Ambato*

<b>Utilización de agua</b>	<b>Descripción</b>
Riego	En la microcuenca del río Ambato, el área potencialmente regable es de 40,920 has. Por otro lado, según el Censo Agropecuario de año 2000, se identificó que el 19,42% de la superficie de uso agropecuario de la provincia disponía de acceso a agua de regadío correspondiente a una superficie de 32.803 ha, del cual el cantón Ambato cuenta con el 51.64%, Pelileo con el 14,51%, Pillaro con el 12,13% y Patate con el 7,11%. mientras que en la Mancomunidad del Frente Sur Occidental la superficie regada no supera el 3%.
Doméstico	La demanda de agua potable se concentra en las microcuencas de los ríos Ambato y Pachanlica. Al año 2035, se prevé que la demanda de agua para la ciudad de Ambato, con una dotación de 300 litros diarios por habitante representará el 58% de la demanda provincia. Fuera de la ciudad de Ambato, la demanda está repartida en más de 300 núcleos de población, entre cabeceras cantonales, parroquiales y comunidades, donde el 60% de estos núcleos se encuentran abastecidos por sistemas regionales rurales con caudales entre 4 a 60,0 litros por segundo (l/s). Al año 2035, la demanda de algunos centros

	poblados abastecidos por sistemas regionales puede llegar a los 130 l/s.
Industrial	La mayor parte de las industrias en la provincia de Tungurahua están ubicadas en los cantones de Ambato y Pelileo. Las industrias que presentan mayor consumo de agua en la provincia, pertenecen al sector de curtiembres con 216.000 m <sup>3</sup> al año, textiles con 200.000 m <sup>3</sup> por año, lácteos con 185.000 m <sup>3</sup> al año y los camales y mataderos con 120.000 m <sup>3</sup> anuales.

**Fuente:** Gobierno Provincial de Tungurahua [56] [57].

### **2.1.11. Contaminación del río Ambato**

En la microcuenca media y baja de la unidad hidrográfica del río Ambato, con 165.185 habitantes que representan a la población de la ciudad de Ambato, el 80,82% de la población urbana, se evidencian altos niveles de contaminación. Una de las causas es el volumen de la descarga de aguas residuales anual del cantón Ambato en 17,5 millones de metros cúbicos al año. El colector Lalama que está ubicado en el sector las Viñas, efectúa el 75% de las descargas domésticas de la ciudad, su caudal asciende un promedio entre 500 a 600 litros por segundo. El Plan Maestro de Recursos Hídricos se estima que en el cantón Ambato se origina el 65% de la contaminación, con una capacidad instalada de plantas de tratamiento que procesa de forma aproximada 61.516 m<sup>3</sup> al día, definido como insuficiente

La microcuenca del río Ambato constituye un espacio donde se ubica de manera aproximada el 75% de la población de la provincia de Tungurahua que tiene una alta demanda del recurso hídrico y se genera los mayores niveles de contaminación que afectan a las microcuencas de los ríos del cantón Patate y los drenajes menores del río Pastaza. Las áreas naturales están amenazadas por las actividades agropecuarias sobre la cota de 3600 msnm, que pone en riesgo el desarrollo sostenible del río Ambato, la disponibilidad del agua para el consumo humano y el riego. La contaminación del río es producido también por la descarga de aguas residuales de utilización doméstica e

industrial, por ende, las unidades hidrográficas del río Ambato presentan niveles altos de contaminación que generan preocupación a la población

### 2.1.12. Características fisicoquímicas del río Ambato

En el estudio previamente analizado de Mendoza & Tingo [55] se desarrolló en el año 2016 un análisis de la caracterización físico, química, microbiológica y de biodiversidad en los puntos de monitoreo seleccionado, a través de la metodología de los Índices de Calidad de Agua (ICA), Índice Biótico para zonas Andinas (ABI), Índice Biológico BMWP de Colombia, Índice Biótico *Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera* (ETP). Los valores muestran diferentes índices acerca de la calidad del agua y los índices de contaminación que afectan a un recurso tan importante como el agua, usada para diferentes actividades humanas.

**Tabla 3.** Caracterización fisicoquímica del río Ambato del 2016 y el índice de la calidad del agua

Código	ICA	ABI	BMWP/Col	ETP
P1	Poco contaminado	Buena	Aguas ligeramente contaminadas	Muy buena
P2	Poco contaminado	Buena	Aguas ligeramente contaminadas	Muy buena
P3	Poco contaminado	Regular	Aguas ligeramente contaminadas	Muy buena
P4	Poco contaminado	Regular	Aguas ligeramente contaminadas	Buena
P5	Poco contaminado	Regular	Aguas ligeramente contaminadas	Buena
P6	Poco contaminado	Regular	Aguas ligeramente contaminadas	Buena
P7	Poco contaminado	Regular	Aguas ligeramente contaminadas	Buena
P8	Poco contaminado	Mala	Aguas moderadamente	Buena
P9	Aceptable	Buena	Aguas ligeramente contaminadas	Buena
P10	Poco contaminado	Mala	Aguas moderadamente	Regular

**Fuente:** Mendoza & Tingo [55].

### **2.1.13. Efectos de las Actividades Antrópicas en el río Ambato**

En el desarrollo de la investigación de Díaz & Granada [58] se planteó que la problemática es la degradación del río Bogotá, denominado como uno de los más contaminados a nivel mundial, porque se han vertido de manera directa de aguas residuales domésticas e industriales sin ningún tipo de tratamiento a lo largo de los municipios. Se midieron las variables fisicoquímicas y microbiológicas en las estaciones altas del río. Las variables químicas analizadas fueron el plomo, mercurio, cromo y de tipo microbiológicas Coliformes totales, *Escherichia Coli*, *Enterococcus faecalis* y *Pseudomona aeruginosa*. En todas las estaciones las variables microbiológicas tienen valores por encima del nivel saludable. La concentración de cromo por la zona cerca de las curtiembres que supere en un nivel máximo los valores recomendados con efectos y riesgos en la salud de los seres humanos. Los principales hallazgos muestran que existe un deterioro progresivo de la calidad del agua, la procedencia son las actividades antrópicas, constituyéndose en la causa de la alta prevalencia de enfermedades parasitarias e infecciones del sistema digestivo en niños pertenecientes al Municipio.

Para Guachamin [8] la problemática de la contaminación de los recursos hídricos constituye una amenaza para las fuentes de agua dulce como los ríos que atraviesan ciudades. La mencionada investigación tuvo como finalidad analizar el efecto de las fuentes antropogénicas y su relación con la contaminación del río Ambato. La metodología que utiliza la investigadora es experimental en la determinación de diez parámetros fisicoquímicos, el cálculo del índice de la calidad del agua (ICA). Los ensayos se efectuaron en un diseño replicado de doble división, los métodos midieron la concentración de parámetros fisicoquímicos según el Manual de Métodos Estándar para el Análisis del Agua y aguas residuales y la determinación del Índice de calidad del agua NSF. Los hallazgos mostraron que solo cuatro parámetros estuvieron dentro de los límites permisibles, por lo que la calidad del agua según el valor ICA fue regular y mala en la cuenca media y baja del río.

Otra investigación evaluó la calidad del agua del río Ambato, en la cual el autor Carvajal [59], efectuó un análisis de los indicadores biológicos basados en los parámetros físico químicos, en nueve puntos de tiene el Municipio de la ciudad de Ambato, que distribuyen en la microcuenca del río, durante el periodo de octubre del 2015 hasta abril del 2016 en época de sequía y lluvia. Los índices bióticos y abiótico indicaron que la calidad del agua se encuentra en la zona alta, presentando una diversidad media – baja, valores de



BMWP/Col entre 43 a 111 y Horton de 63,3 a 93,8. La mayor contaminación se registró en la microcuencia baja, con una diversidad baja, valores de BMWP/Col entre 3 a 9 y Horton de 26,7 a 32,7. Los resultados obtenidos definieron propuestas que ayuden a la disminución de los niveles de contaminación y la recuperación de la calidad del agua.

#### **2.1.14. Fundamentación legal**

La calidad del agua está determinada en la normativa ambiental ecuatoriana desde la Constitución del Ecuador, el Código Orgánico del Ambiente y Normativa que regula la calidad del agua para consumo humano que establece ciertos parámetros.

El derecho al agua es fundamental, porque es un elemento vital para la vida y un recurso natural, degradado y contaminado por las actividades humanas. La Constitución del Ecuador [60] incluye los siguientes artículos que tratan sobre el agua y la remediación ambiental. La norma constitucional lo determina como un derecho humano, en el artículo 12 “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”.

El agua es un patrimonio nacional estratégico, por ende, las autoridades deben garantizar diferentes formas de remediación y tratamiento que ayuden a disminuir el alto de grado de contaminación de los ríos. En el artículo 318 se plantea este aspecto fundamental:

El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal

ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

El Estado deber garantizar la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, asegurando la calidad y cantidad adecuada para brindar equilibrio al ecosistema, el artículo 411 y 412 plantea lo siguiente:

El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

El Código Orgánico del Ambiente [61] menciona la calidad del agua y el tratamiento requerido en el caso de contaminación específicamente en los siguientes artículos. En el caso del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo en el artículo 191 se detalla que:

La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Los tratamientos de aguas residuales urbanas y rurales es esencial en brindar garantías en la calidad del agua. En el Código Orgánico del Ambiente [61] en el artículo 196 se menciona que:

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades.

#### **2.1.15. Parámetros para el agua de consumo humano en el Ecuador**

En el Ecuador se han establecido ciertos parámetros para el agua de consumo humano. En la norma NTE INEN 1108 [62] su objeto y aplicación “Esta norma establece los requisitos del agua para consumo humano y aplica al agua proveniente de sistemas de abastecimiento, suministrada a través de sistemas de distribución”.

En el artículo 4 acerca de los Requisitos se menciona lo siguiente:

- 4.1. El agua para consumo humano debe presentar un sabor y olor aceptables.
- 4.2. El agua para consumo humano debe cumplir con requisitos físicos y químicos.

En el artículo 5 se describe el MUESTREO;

- 5.1. El muestreo para el análisis de requisitos químicos y físicos debe realizarse de acuerdo con lo establecido en NTE INEN-ISO 5667-1, NTE INEN-ISO 5667-3 e ISO 5667-5.

#### **2.1.16. Programa de monitoreo y muestreo de aguas**

La investigación sobre la calidad del agua de los ríos ayuda a desarrollar estrategias de gestión del agua y prevención de la contaminación. El examen de la calidad del agua del río considerando sus propiedades orgánicas y fisicoquímicas ayuda a reducir la implicación en la clarificación de la calidad del agua debido a variaciones espaciales [63].

La identificación de los fenómenos que afectan la calidad del agua en la cuenca y la comprensión de los factores predominantes que determinan la calidad del agua no solo es importante por el bien del medio ambiente natural, sino que también es una tarea difícil [64]

La aplicación de una variedad de herramientas podría mejorar la comprensión de los mecanismos que afectan la calidad del agua en ecosistemas que son sensibles a varios factores, incluidas las perturbaciones tanto naturales como inducidas por el hombre, como los ríos de montaña [23].

El objetivo del monitoreo de la calidad del agua es obtener información cuantitativa sobre las características físicas, químicas y biológicas del agua a través de muestreo estadístico. El tipo de información solicitada depende de los objetivos del programa de vigilancia. Los objetivos y propósitos van desde la detección de violaciones de las normas de agua potable hasta la determinación del estado ambiental y el análisis de las tendencias temporales de la calidad del agua. Se pueden identificar tres categorías de monitoreo: (1) monitoreo rutinario de aguas superficiales, (2) estudios especiales periódicos y (3) estudios especiales realizados para evaluar el alcance de un problema de contaminación (por ejemplo, un estudio de la presencia de pesticidas en aguas superficiales).

El estado de la calidad del agua es el resultado de complejas condiciones naturales y artificiales y de las consiguientes interacciones tanto en el tiempo como en el espacio. En consecuencia, abstraer la esencia de las condiciones de calidad del agua es a menudo muy difícil. Numerosas autoridades locales, regionales y nacionales llevan a cabo el seguimiento y la evaluación del estado medioambiental de las aguas superficiales europeas. La amplia variedad de estructuras organizativas correspondientes a los niveles nacional y local en los países europeos significa que la administración de las actividades de supervisión difiere en gran medida. Considerando los programas nacionales regionales de vigilancia de la calidad de las aguas superficiales como una fuente importante de información, es importante conocer los principales componentes de la estructura organizativa involucrada, por ejemplo, las instituciones participantes y sus responsabilidades, los principios generales de coordinación de la supervisión, el almacenamiento de datos, la presentación de información, entre otros [65].

### **2.1.15.1. Supervisión del diseño de la red**

La red de monitoreo es descrita sobre todo por los cuerpos de agua (es decir, manantiales, arroyos, ríos, sistemas fluviales, estanques, lagos, embalses, fiordos, estuarios, zonas costeras o aguas marinas abiertas) y el área geográfica (por ejemplo, país, sistema fluvial, etc.) que cubre. Sin embargo, a menudo se necesita información más específica sobre los criterios de selección de los lugares de muestreo para evaluar la información obtenida de un programa de seguimiento. Se pueden identificar dos tipos de redes: (1) una extensa red que involucra muchos sitios de muestreo, pocas muestras anuales, análisis de unas pocas variables y solo uno o pocos años de muestreo, (2) una red intensiva que incluye sitios de muestreo con investigaciones detalladas, muchas muestras anuales o mediciones de muchas variables y muchos años de observaciones. Muchas redes de monitoreo son intensivas y extensas, por ejemplo, una subred que consiste en muchos sitios de muestreo extensos con pocas variables combinadas con una subred que incluye relativamente pocos sitios de muestreo con muestreo frecuente y varias variables medidas.

Las redes de muestreo fluvial deben describirse mediante la estrategia de selección de los lugares de muestreo; En los principales ríos de un país o el muestreo frecuente de fuentes puntuales aguas abajo. Una descripción general del número total de sitios de muestreo, el número de ríos, el número de sistemas fluviales y la información sobre las zonas de captación (por ejemplo, la distribución del tamaño de la zona de captación) generalmente dan una descripción justa de la red de muestreo. Muchas redes de muestreo de ríos se componen de dos o más subredes, por ejemplo, unos pocos sitios de muestreo intensivo ubicados en los principales ríos y numerosos sitios básicos de muestreo ubicados en afluentes y tramos fluviales menos importantes.

Las redes de muestreo de lagos también deben describirse mediante la estrategia para la selección de los lugares de muestreo (es decir, los lagos más grandes o los lagos de las zonas problemáticas conocidas que presentan, por ejemplo, eutrofización o acidificación, etc.). Muchos programas de vigilancia de lagos se basan en estudios del estado ambiental de los lagos realizados a intervalos de cinco años, y los lagos que han de incluirse en el estudio se fijan o se seleccionan utilizando criterios estadísticos entre el número total de lagos de un país. A menudo, el programa de estudios se complementa con un programa intensivo de vigilancia de lagos que incluye estudios anuales de relativamente pocos lagos.

### 2.1.15.2. Variables medidas

El número de variables que describen la calidad de un cuerpo de agua ha aumentado y se están modificando y perfeccionando constantemente junto con los usos en expansión a los que se somete el agua, y también en el ritmo del desarrollo de capacidades analíticas para medir más y más sustancias en concentraciones cada vez más bajas.

Los diversos grupos de usuarios del agua han desarrollado, hasta cierto punto, sus propios enfoques y métodos para describir y medir la calidad del agua. Durante muchas décadas, la gestión de las cuencas fluviales y el control de la contaminación del agua se han basado en variables resumidas, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) para cuantificar la descarga de aguas residuales y los problemas de oxígeno en los ríos. Con el fin de utilizar el consumo humano y el suministro público de agua, se ha identificado un conjunto de organismos indicadores microbiológicos (por ejemplo, bacterias coliformes fecales) y su enumeración se aplica comúnmente para determinar la idoneidad higiénica del agua para beber.

Las variables de calidad del agua se pueden agrupar en las siguientes categorías generales:

1. Variables básicas (por ejemplo, temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto y descarga) utilizadas para una caracterización general de la calidad del agua.
2. Partículas en suspensión (por ejemplo, sólidos en suspensión, turbidez y materia orgánica (TOC, DBO y DQO)).
3. Indicadores de contaminación orgánica (por ejemplo, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), amonio).
4. Indicadores de eutrofización: nutrientes (por ejemplo, nitrógeno y fósforo), y varias variables de efecto biológico (por ejemplo, clorofila a, transparencia del disco secchi, fitoplancton, zoobentos).
5. Indicadores de acidificación (por ejemplo, pH, alcalinidad, conductividad, sulfato, nitrato, aluminio, fitoplancton y diatomeas)
6. Iones principales específicos (por ejemplo, cloruro, sulfato, sodio, potasio, calcio y magnesio) como factores esenciales para determinar la idoneidad del agua para la mayoría de los usos (por ejemplo, suministro público de agua, riego del ganado y riego de cultivos)
7. Metales (por ejemplo, cadmio, arsénico, hierro y níquel)
8. Microcontaminantes orgánicos como pesticidas y las numerosas sustancias

químicas utilizadas en procesos industriales (ej. PCB, HCH, HAP).

9. Indicadores de radiactividad (por ejemplo, actividad alfa y beta total,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ )
10. Organismo indicador microbiológico (por ejemplo, coliformes totales, coliformes fecales y bacterias estreptococos fecales)
11. Indicadores biológicos del estado ambiental del ecosistema (por ejemplo, fitoplancton, zooplancton, zoobentos, peces, macrófitos y aves y animales relacionados con las aguas superficiales) [65].

La combinación de pruebas hidro químicas con análisis microbiológicos del agua puede ser una herramienta útil que permite el análisis multivariante de los resultados obtenidos, y ha resultado útil en varios estudios sobre ecosistemas acuáticos [23].

Un enfoque para determinar la calidad del agua de los ríos es el índice de calidad del agua, que se considera un método eficaz y útil para evaluar la calidad del agua. Este método da una idea sobre la calidad general del agua a los responsables de la formulación de políticas. El índice de calidad del agua incorpora los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos para la determinación de los índices de calidad del agua mediante las diversas ecuaciones matemáticas. El uso fue propuesto inicialmente por Horton en 1965 y Brown en 1970 [55].

El enfoque de monitoreo fisicoquímico incluye el análisis de diferentes parámetros tales como pH, turbidez, conductividad, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, carbono orgánico total, nutrientes y metales pesados. Estos parámetros afectan la calidad del agua potable, si sus valores se encuentran en concentraciones superiores a los límites de seguridad establecidos por los organismos reguladores. Por lo tanto, es necesario investigar la calidad del agua potable para garantizar un acceso adecuado a agua limpia y segura por parte de la creciente población humana [57]

### **2.1.15.3. Matrices muestreadas**

La mayoría de los programas de vigilancia miden la calidad y la contaminación en la columna de agua y algunos de los programas de vigilancia también incluyen el muestreo de otros compartimentos del medio acuático, especialmente el análisis de contaminantes de los sedimentos y de las partículas. Los organismos indicadores biológicos y el análisis de las diversas comunidades biológicas se utilizan para evaluar el estado ecológico de los cuerpos de agua. Los indicadores biológicos más empleados en las investigaciones de la calidad de los ríos son los grandes invertebrados visibles (macroinvertebrados), mientras

que los indicadores biológicos más empleados en las investigaciones de aguas lacustres y costeras son los estudios de fitoplancton (algas) y zoobentos [65].

#### **2.1.15.4. Frecuencia de muestreo**

La frecuencia de muestreo varía sustancialmente en función de la finalidad del programa de seguimiento y de las variables que deben medirse. Por lo general, se toman muestras frecuentes cuando el propósito de un programa de vigilancia es observar tendencias, mientras que los programas y encuestas con el fin de evaluar el estado general de muchos cuerpos de agua generalmente se basan en la baja frecuencia de muestreo. Algunos programas de vigilancia incluyen el registro continuo de variables básicas como el pH, la conductividad, la salinidad y el oxígeno disuelto, mientras que en la mayoría de los programas de vigilancia que miden la calidad y la contaminación en la columna de agua, se toman varias muestras anuales. La investigación de organismos biológicos como macroinvertebrados en ríos y zoobentos en lagos y áreas marinas generalmente se basa en pocas muestras anuales. Una gran proporción de los costos de funcionamiento de un programa de vigilancia está directamente relacionada con la frecuencia de muestreo [57].

La frecuencia de muestreo puede describirse por el número total de muestras anuales, por ejemplo 12/año: doce muestras al año; o 2/5 años: dos muestras cada cinco años. La información sobre el momento del muestreo también puede ser importante, si el muestreo se distribuye uniformemente a lo largo del año (por ejemplo, muestras mensuales, semanales) o si se utiliza un muestreo estratificado (por ejemplo, muestreo durante el verano, temporadas de pulverización de plaguicidas o períodos de flujo máximo; muestreo mensual cada quinto año) [65].

#### **2.1.17. Índice De Calidad Del Agua (ICA)**

La caracterización de la calidad del agua de un río está relacionado con la determinación del grado, el nivel o intensidad de la contaminación que tiene, las causas pueden ser físicas, químicos o biológicas y la capacidad del sistema de restituir de forma naturales sus propiedades antes de verse afectados por diferentes contaminantes [58].

La tabla presente la escala usada por Fernández y Solano [63] para establecer la interpretación final de la calidad del agua según el índice ICA.

En la tabla 6 se presentan los pesos asignados a cada variable según González et. Al [12] En las figuras 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran las curvas de función según Brown [54],



modificadas por Samboni et al [66] que se usan por cada valor de la concentración de los parámetros determinados en el ICA el valor de  $Q_i$  que corresponde al Índice de Calidad.

**Tabla 4.** Calidad del agua asociada al valor del ICA (Escala de clasificación del ICA – NSF)

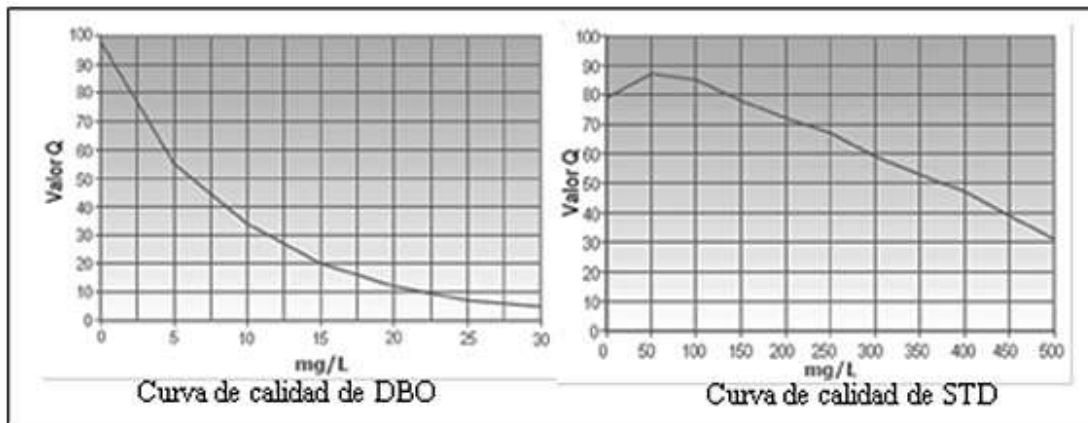
Calidad del Agua	Valor del ICA
Excelente	91-100
Buena	71-90
Media	51-70
Mala	26-50
Muy mala	0-25

**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].

**Tabla 5.** Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF

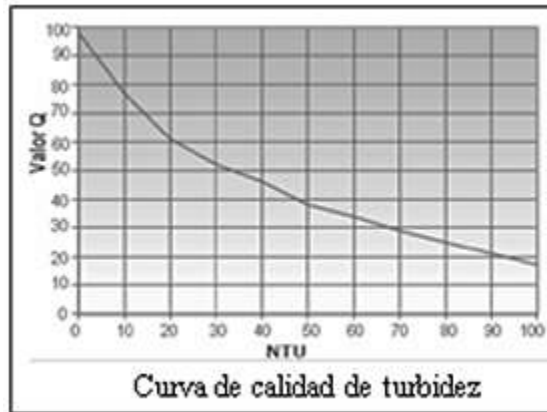
Coliformes fecales (CF)	0,15
Potencial de hidrógeno (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	0,10
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	0,10
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	0,10
Cambio de Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales disueltos (STD)	0,08
Oxígeno Disuelto (OD)	0,17

**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].

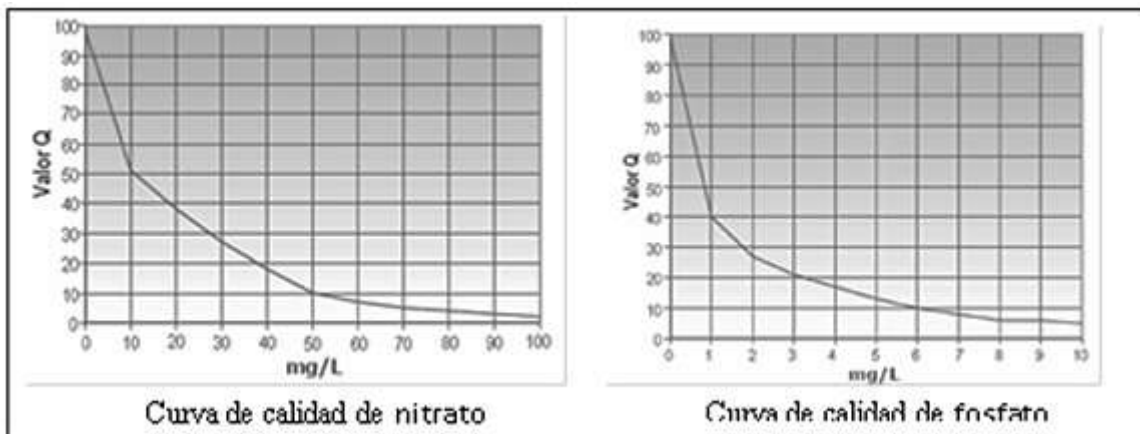


**Figura 3.** Curvas de calidad de DBO y STD

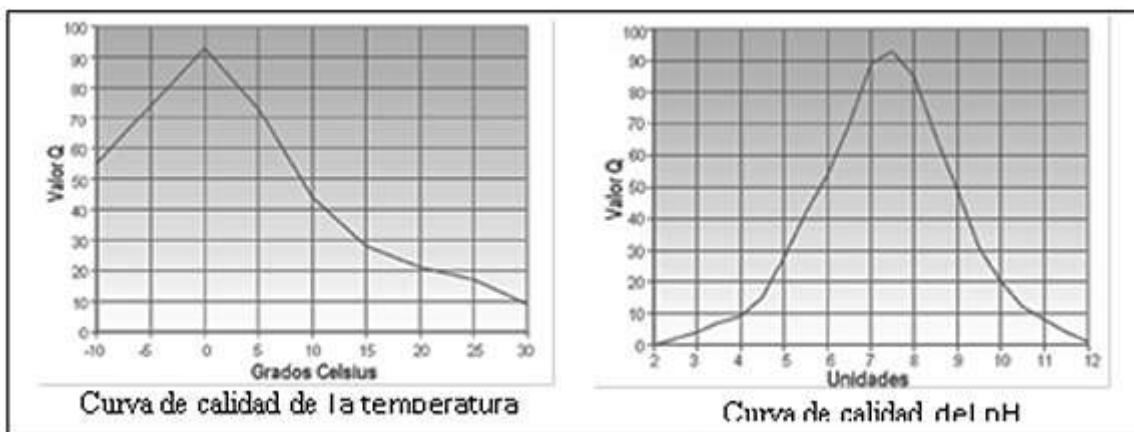
**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].



**Figura 4.** Curvas de calidad de turbidez  
**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].



**Figura 5.** Curvas de calidad de  $NO_3^{-1}$  y  $PO_4^{3-}$   
**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].



**Figura 6.** Curvas de calidad de temperatura y pH  
**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52]



**Figura 7.** *Curvas de calidad de OD*  
**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].

## 2.2. Objetivos

### 2.2.1. General

Determinar el efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato.

### 2.2.2. Específicos

- Establecer una red de muestreo, parámetros de control fisicoquímico y un plan de monitoreo de calidad del agua en la Microcuenca del Río Ambato desde el sector de Marcopamba hasta el sector de las Viñas.
- Determinar el nivel de contaminación en el río Ambato por efecto de las actividades antrópicas.
- Evaluar los parámetros de contaminación del agua a lo largo de río Ambato desde el sector de Marcopamba hasta el sector de la Viñas y su efecto sobre la calidad ambiental de la zona de estudio.

### 3. CAPÍTULO III

#### 3.1. Metodología

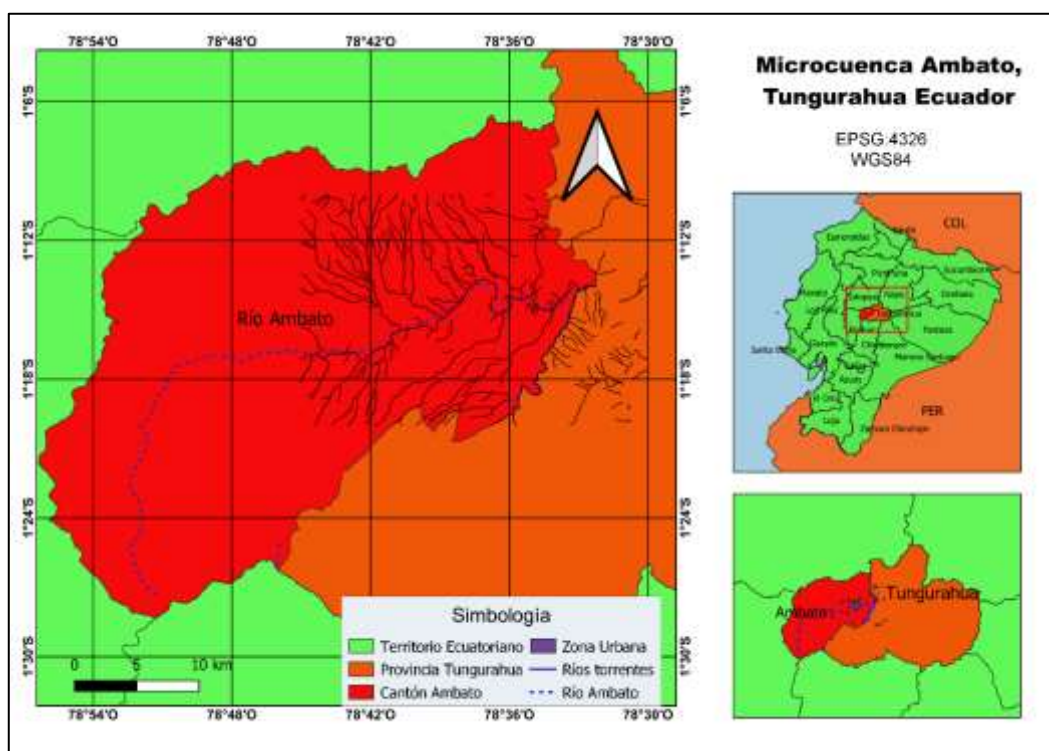
El muestreo del agua de la cuenca del Río Ambato fue realizado en 10 puntos. Para lo cual se siguió el manual del Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, de “Agua, Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo” establecido en la Norma INEN NTE 2226 [10]. La recolección de las muestras se realizó en botellas esterilizadas de plástico con capacidad de 1 litro y colocadas dentro de fundas con cierre de seguridad *Ziploc*, los cuales fueron etiquetados de acuerdo con el punto de muestreo. Además, se colocaron los preservantes necesarios de acuerdo con el tipo de análisis a realizar y posteriormente fueron colocados en coolers con hielo y transportados hasta el laboratorio.

*Tabla 6. Puntos de muestreo, código de muestras y coordenadas geográficas*

Puntos de muestreo		Código de muestras	Coordenadas geográficas*
1	Huachi – Pelileo	UTA-F2-P1-M1	17M 743568,4 9858213,8
		UTA-F2-P1-M2	
		UTA- F2-P1-M3	
2	Estación Huaico	UTA- F2-P2-M1	17M 748822,0 9858440,2
		UTA- F2-P2-M2	
		UTA- F2-P2-M3	
3	Descarga Pasa	UTA- F2-P3-M1	17M 752186,2 9857885,3
		UTA- F2-P3-M2	
		UTA- F2-P3-M3	
4	Aguajan	UTA- F2-P4-M1	17M 754097,9 9858241,9
		UTA- F2-P4-M2	
		UTA- F2-P4-M3	
5	Tilulum	UTA- F2-P5-M1	17M 758196,7 9859966,5
		UTA- F2-P5-M2	
		UTA- F2-P5-M3	
6	Parque “El Sueño”	UTA- F2-P6-M1	17M 762155,0 9861388,0
		UTA- F2-P6-M2	
		UTA- F2-P6-M3	

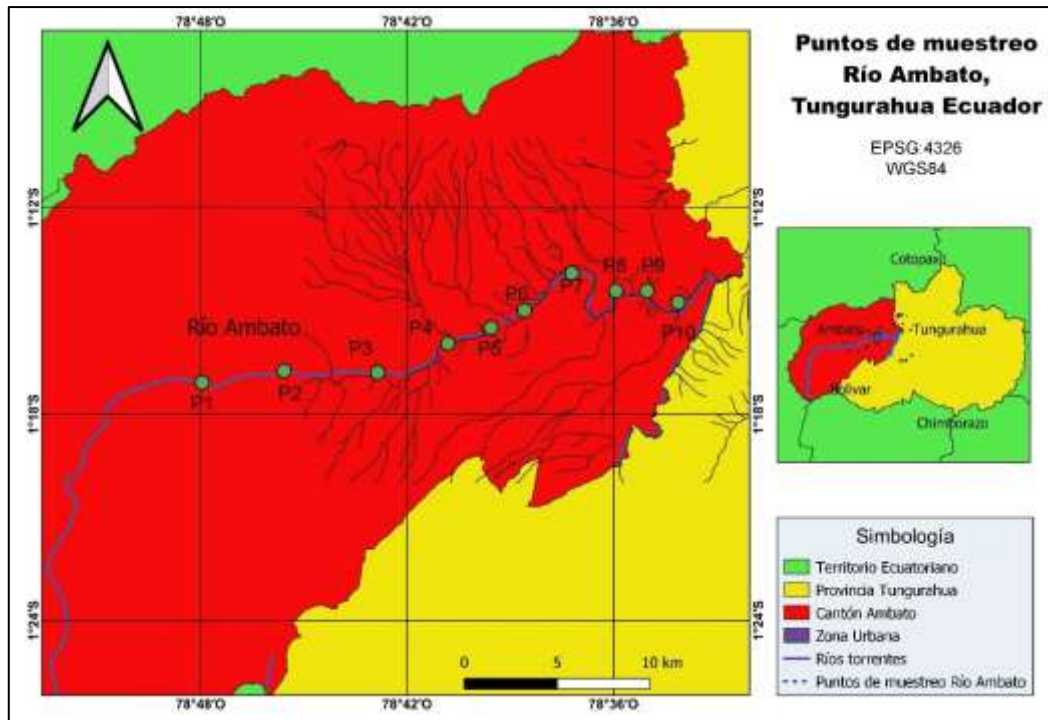
		UTA- F2-P7-M1	
7	El Socavón	UTA- F2-P7-M2	17M 764908,0 9864153,0
		UTA- F2-P7-M3	
		UTA- F2-P8-M1	
8	Paso Lateral	UTA- F2-P8-M2	17M 767004,0 9862869,0
		UTA- F2-P8-M3	
		UTA- F2-P9-M1	
9	Quillán	UTA- F2-P9-M2	17M 772546,0 9863518,0
		UTA- F2-P9-M3	
		UTA- F2-P10-M1	
10	Las Viñas	UTA- F2-P10-M2	17M 771838,0 9863295,0
		UTA- F2-P10-M3	

**Fuente:** Coordenadas geográficas UTM. F1: primera campaña de muestreo, F2: segunda campaña de muestreo, P: punto de muestra, M: muestra.



**Figura 8.** Mapa geopolítico de Tungurahua, cantón Ambato donde fue la zona de estudio

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 9.** Puntos de muestreo a lo largo de la microcuenca del río Ambato que abarcó la zona de estudio

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Materiales de Laboratorio.**

- Balón aforado de 50ml
- Embudos
- Papel filtro
- Micro pipeta de 20-200 $\mu$ l

#### **Equipos.**

- pH-metro digital MILWAUKEE
- Digestor microondas ETHOS UP MILESTONE
- Espectrómetro de Absorción Atómica PG INSTRUMENTS AA500

#### **Reactivos.**

- Ácido Nítrico concentrado
- Ácido Nítrico 1%
- Estándar de Absorción Atómica Níquel AA37N-1
- Agua destilada
- Buffer solución pH: 7, 4 y 10 MARCA SCHARLAN

### **3.1.1. Métodos.**

#### **3.1.1.1. Programa de Monitoreo del Río Ambato.**

El estudio de los parámetros fisicoquímicos en puntos específicos de la cuenca alta, media y baja del río Ambato consistió en la segunda parte de un Proyecto catalogado como Fase 2 del Programa de Monitoreo del río Ambato que se inició en un trabajo de investigación previo bajo el cargo de la autora en el año 2019 [8]. Por tal razón, se procedió dentro del mismo marco conceptual y de análisis del Proyecto, teniendo en cuenta que la presente investigación realizó una ampliación del estudio previo, donde se incluyen más puntos de muestreo (total 10) y para la guía de muestreo y programa de monitoreo se tomó como referencia las indicaciones de la Fase 1 como se detalla a continuación:

El muestreo aplicado fue un muestreo de tipo crítico, el mismo que hace referencia a la selección subjetiva de los puntos de muestreo, tomando en consideración el juicio profesional del especialista, para ello se dispone de información previa sobre el sitio de muestreo, inspecciones visuales y recorrido de las zonas para detectar por ejemplo descargas y fugas, además prima el conocimiento y experiencia del profesional que muestrea. Por lo general se aplica cuando se tiene un cronograma específico ante un procedo determinado de estudio sea este de investigación de la zona para detectar presencia o ausencia de contaminantes y cuando el presupuesto es ajustado.

Con base a lo anterior se señaló como objetivo del muestreo establecer una red de muestreo, parámetros de control fisicoquímico y un plan de monitoreo de calidad del agua en la Microcuenca del Río Ambato desde el sector de Marcopamba hasta el sector de las Viñas. Este procedimiento se aplica a todas las actividades de muestreo de aguas naturales y superficiales, para la caracterización de la calidad de agua del río Ambato. En el mismo se siguió la guía de las normas y procedimientos operativos establecidos en la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) y en el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) de tal manera que se asegure la calidad de los resultados del laboratorio.

Principalmente este procedimiento toma como base las normas: NTE INEN 2169:2013 Agua. calidad del agua. muestreo. manejo y conservación de muestras NTE INEN 2176:2013 la cual establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos [9], NTE INEN 2226:2013 Agua, Calidad del Agua. Muestreo [10].

### 3.1.1.1.1. Métodos de muestreo

El método de muestreo basado en las indicaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 Y 2176, fue el de tipo manual en el que predomina las facultades sensoriales de la persona que realiza el muestreo ya que el empleo de un muestreador automático conlleva mayor gasto de transporte y uso.

### 3.1.1.1.2. Selección de los parámetros

La selección de parámetros estará en función a los siguientes aspectos de evaluación.

- Para proyectos específicos de contaminación de microcuencas del río Ambato.
- Vigilancia de los cuerpos de agua para determinar el impacto que ocasionan las aguas.

### 3.1.1.1.3. Frecuencia de Monitoreo.

La frecuencia de muestreo se la realizó de formar anual mediante dos campañas, la primera en el mes de febrero de 2020 y la segunda campaña en el mes de mayo de 2021 en las cuales fueron monitoreados 10 puntos a lo largo de la cuenca del río Ambato, tomando 3 muestras en cada sitio.

### 3.1.1.1.4. Selección de parámetros y preservantes

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron fueron seleccionados en base a los objetivos planteados, aplicando los preservantes para su conservación como se indica en la siguiente tabla.

*Tabla 7. Distribución de los parámetros de análisis agua de río y conservación.*

<b>Parámetro</b>	<b>Envase</b>	<b>Volumen de Muestra</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Conservación</b>	<b>Tiempo de conservación</b>
Aceites y grasas	P . V	500	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	7d/28d
Alcalinidad	P . V	200	S .C	refrigerar	7d
Amonio	P . V	500	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	7d /28d
Cloruros	P . V	50	S .C	refrigerar	28d



Color aparente	P . V	500	S .C	refrigerar	48h
Conductividad Eléctrica	P . V	500	S .C	refrigerar	28d
DBO <sub>5</sub>	V botella	1000	S .C	refrigerar	6h/48h
DQO	V botella	100	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	7d/28d
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	P . V	100	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6 meses
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	P . V	500	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	28d
Hierro Total (Fe <sup>+3</sup> )	P . V	500	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	28d
Nitratos (NO <sup>-3</sup> )	P . V	100	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	48h/28d
Nitritos (NO <sup>-2</sup> )	P . V	100	S .C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2 refrigerar	48h/28d
Oxígeno Disuelto	P . V	500	S .C	refrigerar	28d
PH	P . V	50	S	Analizar inmediatamente o refrigerar	7d
Sólidos suspendidos	P . V	200	S .C	refrigerar	7d
Sólidos totales	P . V	200	S .C	refrigerar	7d
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).	P . V	100	S .C	refrigerar	28d
Turbiedad	P . V	100	S .C	Analizar inmediatamente	24h/48h

Plomo	P(A) V(A)	1000	S .C	HNO <sub>3</sub> (2ml/L) refrigerar	6 meses
Níquel	P(A) V(A)	1000	S .C	HNO <sub>3</sub> (2ml/L) refrigerar	6 meses
Cadmio	P(A) V(A)	1000	S .C	HNO <sub>3</sub> (2ml/L) refrigerar	6 meses
Calcio	P(A) V(A)	1000	S .C	HNO <sub>3</sub> (2ml/L) refrigerar	6 meses
Magnesio	P(A) V(A)	1000	S .C	HNO <sub>3</sub> (2ml/L) refrigerar	6 meses
Arsénico	P(A). V(A)	1000	S .C	HNO <sub>3</sub> (2ml/L) refrigerar	6 meses

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.1.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

La determinación de parámetros fisicoquímicos se realizó mediante métodos estándar con base a la guía de los métodos del manual de “Métodos Estándar para la determinación de agua y aguas residuales” (“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”) [67] y a su vez también con base a la guía de las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Finalmente, para la comparación y análisis de datos se usó como referencia los límites establecidos en la Normativa de Calidad Ambiental del Texto Único de Legislación Secundaria (TULSMA) [11], con respecto al Criterio de Calidad de aguas frías dulces admisibles para la preservación de la flora y fauna.

#### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

En la determinación de potencial de Hidrógeno (pH) se empleó un potenciómetro digital marca MILWAUKEE, buffers de pH 4,7 y 10 marca SCHARLAN, para la respectiva calibración del equipo y posterior medición directa de las muestras de agua del río siendo estas homogenizadas con tratamiento previo a su lectura con base a las indicaciones del método estándar APHA 4500-H<sup>+</sup>B:2012 [67]. El potencial de hidrógeno o pH permite medir que tan ácida o alcalina puede ser la muestra de agua mediante la actividad de iones hidrógeno mediante la medida directa utilizando un equipo denominado potenciómetro a

través de un electrodo de vidrio.

### **Metales Pesados**

La determinación de metales pesados (plomo, níquel, cadmio, arsénico) se realizó tomando en cuenta los métodos estándar APHA 3113 y APHA 3114 [67], así como también el método establecido por la Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2016 [68] y como subproceso el método de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) EPA 3015A [69]. Previo al análisis de metales en agua, se realizó una digestión ácida de las muestras en el Digestor microondas ETHOS UP MILESTONE. Este primer procedimiento consistió en homogenizar a las muestras y tomar 45mL de la misma para luego colocarlo en los vasos de TFM (teflón) de 100mL. A continuación, se adicionó 5mL de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ) según lo establecido por el método EPA 3015A que indica el software del equipo. Transcurrido 45min del proceso de digestión, se esperó 30min en la etapa de enfriamiento para posteriormente abrir la puerta del digestor. Después de abrir con cuidado cada uno de los vasos de TFM, se filtró el volumen obtenido en un balón de 50mL y se aforo con agua destilada.



***Figura 10. Medición de metales pesados utilizando en Digestor microondas ETHOS UP MILESTONE.***

En el segundo procedimiento, a partir de la solución patrón de Níquel (Ni), se prepararon estándares a concentraciones 10; 25; 50; 100; 150 y 200 ppb, los cuales fueron colocados en balones de 25mL y aforados con  $\text{HNO}_3$  al 1%. Mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo PG INSTRUMENTS AA500 con horno de grafito, se pudo elaborar la curva de calibración y así determinar la concentración de Ni que está presente en las muestras de agua. No se realizó diluciones de muestra, puesto a que los valores obtenidos estaban dentro del rango de absorbancia de los estándares preparados. El blanco

utilizado fue  $\text{HNO}_3$  1%. Los cálculos correspondientes se realizaron en una hoja electrónica de Excel.



**Figura 11.** Medición de metales pesados Mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica PG INSTRUMENTS AA500 con horno de grafito

### **Turbidez**

Estándares de calibración de turbidímetro HACH

La medición del grado de turbidez que presentan las muestras de agua se llevó siguiendo el método nefelométrico estándar APHA 2130 B [67], mediante el uso del turbidímetro portátil TN400 TURBIDITY, cuyos resultados se expresan en unidades NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Antes de comenzar con el análisis, se calibró el equipo con los estándares (0,02 NTU, 20 NTU, 100NTU y 800NTU), luego se procedió a homogenizar las muestras de agua y se llenó la celda con tapa para muestra, hasta la marca indicada. Finalmente se colocó dentro del porta muestra y se comenzó con la lectura. Los valores obtenidos indican la dispersión de la luz en donde se establece una razón entre la señal de luz dispersa nefelométrica a  $90^\circ$  y la señal de luz transmitida.



**Figura 12.** Medición de la turbidez utilizando el turbidímetro portátil TN400 TURBIDITY

## Oxígeno disuelto

Para la determinación de oxígeno disuelto se aplicó el método estándar APHA 4500-O [67] y el método de la norma INEN NTE 1106 [70]. El método Yodométrico consistió en llenar la botella Winkler por completo y taponarla, lo siguiente fue adicionar 2mL de solución  $MnSO_4$  y 2mL de solución álcali-yoduro-nitruro, se tapó nuevamente con cuidado la botella, evitando la formación de burbujas de aire, se mezcló por inversión y se dejó sedimentar por 5min. Una vez se cumplió el tiempo se añadió 2mL de  $H_2SO_4$  concentrado y se mezcló repetidas veces por inversión hasta obtener una disolución completa. Seguido se procedió a tomar 100mL de la muestra tratada y se trasvasó en un matraz Erlenmeyer de 250mL. Para finalizar se tituló con tiosulfato de sodio 0,025N ( $Na_2S_2O_3$ ), hasta obtener una solución de color amarillo pálido, llegado a este punto se añadió 3 gotas de solución de almidón como indicador hasta llegar a un color azul y se continuó con la titulación hasta la desaparición total del color. La cantidad de oxígeno disuelto se determinó mediante la siguiente fórmula:

Cálculo de corrección por la pérdida de muestra desplazada por los reactivos

$$V_{muestra\ corregida} (ml) = \frac{V_{muestra\ original} \times V_{capacidad\ botella}}{V_{capacidad\ botella} - V_{total\ de\ reactivos}} \quad (Ec. 1)$$

Cálculo de oxígeno disuelto

$$mg\ de\ OD/L = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \times N_{Na_2S_2O_3} \times 8000 \times V_{capacidad\ botella}}{V_{muestra\ original} \times (V_{capacidad\ botella} - 2)} \quad (Ec. 2)$$

Donde:

$V_{Na_2S_2O_3}$  = Volumen gasto de tiosulfato de sodio (mL)

$N_{Na_2S_2O_3}$  = Normalidad del tiosulfato de sodio



**Figura 13.** Determinación de Oxígeno Disuelto mediante método yodométrico

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

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) indica la cantidad de compuestos oxidables presentes en agua. Para la determinación de este parámetro se basó en el método estándar APHA 5220-D22 [67], a su vez el señalado por la Norma NTE INEN 1203 [71] y en el método simplificado expuesto por los autores [72], el cual consistió en precalentar el digestor unos 20min antes del análisis, mientras tanto se procedió a preparar los blancos: en un tubo de digestión se agregó 2,5mL de agua ultrapura, 1,5mL de solución digestora (solución de dicromato de potasio, sulfato de mercurio y ácido sulfúrico concentrado) y 3,5mL de reactivo ácido sulfúrico ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ). Se homogeneizó y tapó. Para los tubos muestra se siguió el mismo procedimiento anterior. A continuación, se colocó a los tubos con las muestras, blancos y estándares de control en el digestor precalentado a  $150^\circ\text{C}$  por un tiempo de 2 horas. Transcurrido ese tiempo se dejó enfriar para posterior leer en el espectrofotómetro HACH a 400nm para muestras de color naranja y a 600nm para las muestras de color verde. Finalmente se ingresó los valores de absorbancia obtenidos en las muestras, en la curva estándar de calibración DQO, el cual se digesto con ftalato potásico para hallar los valores en concentración ppm. A partir de la solución patrón de  $500\text{ mgO}_2/\text{L}$ , se preparó estándares a concentraciones de 50; 100; 200 y  $250\text{ mgO}_2/\text{L}$ .



*Figura 14. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante espectrofotómetro HACH*

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno se determinó mediante el método estándar APHA 5210 B [67], mediante el equipo OxiTop, el cual es un método respirométrico diseñado para el análisis de presencia de materia orgánica en el agua residual. Este equipo determina el DBO por medio de cambio de presión dentro de la botella incubada durante 5 días, ya que durante este tiempo se observa la transformación del oxígeno consumido por microorganismos en dióxido de carbono [73]. En este apartado se colocó 432mL de

agua residual en la botella ámbar del OxiTop, se introdujo un agitador y se agregó 10 gotas de inhibidor de nitrificación. Luego se procedió a colocar en el caucho de la boca de la botella, de 2 a 3 pastillas de hidróxido de sodio. Finalmente se cerró el cabezal de la botella y se conectó la plancha de agitación junto con las botellas de OxiTop al interior de una incubadora. Se mantuvo la incubadora prendida en un periodo de 5 días para posteriormente empezar con la lectura de datos en unidades de mg/L.



*Figura 15. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se determinó mediante el equipo OxiTop.*

### **Sólidos suspendidos totales**

En base a lo establecido por el método estándar APHA 2540-D22 [67], se procedió a la retención de partículas sólidas presentes en las muestras de aguas residuales. Para cual se pesó las capsulas previamente lavadas y secadas por 2 horas a 105°C y papel filtro. Por otra parte, se instaló el equipo de filtración al vacío conformado por un matraz Kitasato y embudo Buchner. Se colocó el papel filtro sobre el embudo, se vertió 50mL de muestra y se prendió la bomba para empezar con la filtración. Luego se retiró con cuidado el papel filtro y se colocó en la capsula para posterior ser llevado a la estufa por 2 horas a 105°C. Finalmente, se dejó enfriar en el desecador hasta que llegue a temperatura ambiente y se volvió a pesar. La fórmula que se utilizó es la siguiente:

$$SST = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{V} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$P_2$  = peso cápsula + papel filtro con residuo (secado) (g)

$P_1$  = peso cápsula + papel filtro (g)

$V$  = volumen de la muestra (ml)



**Figura 16.** Determinación de sólidos suspendidos totales

### Sólidos disueltos totales

Se realizó por el método estándar gravimétrico APHA 2540-C22 [67], en el cual se pesó crisoles previamente lavados y secados y se colocó 50mL de muestra filtrada en el proceso de sólidos suspendidos totales (filtración al vacío). Luego se llevó a la estufa a 180°C por 2 horas. Se dejó enfriar en el desecador hasta que el peso sea constante y se registró ese dato. La fórmula que se utilizó fue la siguiente:

$$SDT = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{V} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

$P_2$  = peso residuo seco del filtrado (g)

$P_1$  = peso cápsula (g)

$V$  = volumen de la muestra filtrada (ml).



**Figura 17.** Determinación de sólidos disueltos totales por método gravimétrico

### Sólidos totales

La determinación de sólidos totales por medio del método estándar APHA 2540-B22 [67], consistió en la suma de los residuos obtenidos en la parte de sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:



$$ST \left( \frac{mg}{L} \right) = SST + SDT \quad (\text{Ec. 5})$$

### **Conductividad**

Para la determinación de este parámetro se utilizó el método estándar modificado APHA 2510 B [67], mediante el medidor de conductividad HANNA WATERPROOF. El mismo que se calibró con la solución de calibración HI 7031. Se introdujo el instrumento en las muestras de aguas residuales y se procedió con la medición en unidades  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Después que de analizar cada muestra se lavó con agua destilada y se secó.

### **Fosfatos**

La determinación de fosfatos se realizó a mediante el método estándar APHA 4500-P, C [67], usando el Test Fosfatos de la marca MERCK. Antes de comenzar con el análisis se filtraron a las muestras y se ajustó a un pH de 0 – 10 con ácido sulfúrico. Se tomó 5mL de la muestra preparada y se añadió 5 gotas del reactivo  $\text{PO}_4^{-1}$ , a continuación, se mezcló y luego se agregó 1 microcuchara del reactivo  $\text{PO}_4^{-2}$ , se agitó vigorosamente hasta que la mezcla esté completamente disuelta. Se dejó reposar por 5min (tiempo que dura la reacción) y luego se trasvasó la mezcla a una cubeta para posterior medir en el fotómetro. Los valores obtenidos fueron en unidades de mg/L.

### **Cloruros**

Para la determinación de cloruros a través del método estándar APHA 4500 CI, B [67], usando el Test Cloruros de la marca MERCK. Antes de comenzar con el análisis se filtraron a las muestras y se ajustó el pH en un rango de 1 – 12 con solución diluida de ácido nítrico. Se tomó 5mL de la muestra preparada y se añadió 2,5mL del reactivo  $\text{Cl}^{-1}$ , a continuación, se mezcló y luego se agregó 0,50mL del reactivo  $\text{Cl}^{-2}$ , se agitó hasta que la mezcla esté completamente disuelta. Se dejó reposar por 1min (tiempo que dura la reacción) y luego se trasvasó la mezcla a una cubeta para posterior medir en el fotómetro. Los valores obtenidos fueron en unidades de mg/L.

### **Amoniaco**

La determinación de amoniaco se realizó con el método estándar 4500-NH3 B [67], mediante el Test Amonio de la marca MERCK. Antes de comenzar con el análisis se filtraron a las muestras, se tomó la temperatura el cual debe estar entre 20 – 30°C y se ajustó a un pH de 4 – 13 ya sea con solución hidróxido de sodio o ácido sulfúrico. Se tomó 5mL de la muestra preparada y se añadió 0,60ml del reactivo  $\text{NH}_4^{-1}$ , a continuación, se mezcló y luego se agregó 1 microcuchara del reactivo  $\text{NH}_4^{-2}$ , se agitó vigorosamente

hasta que la mezcla esté completamente disuelta. Se dejó reposar por 5min (tiempo que dura la primera reacción). Se añadió 4 gotas de  $\text{NH}_4^{+3}$  y se dejó reposar por 5min (tiempo que dura la segunda reacción) luego se trasvasó la mezcla a una cubeta para posterior medir en el fotómetro. Los valores obtenidos fueron en unidades de mg/L.

### **Nitratos**

La determinación de nitratos se realizó siguiendo el método estándar APHA 4500-NO<sub>3</sub>-B [67], mediante el Test Nitratos de la marca MERCK. Antes de comenzar con el análisis se filtraron a las muestras y se ajustó a un pH de 1 – 3 con ácido sulfúrico. En un tubo de ensayo seco se añadió 4mL de  $\text{NO}_3^{-1}$ , a continuación, se agregó 0,5mL de la muestra preparada y 0,5mL de  $\text{NO}_3^{-2}$ . En este punto se tuvo cuidado ya que la reacción es exotérmica, a continuación, se mezcló y se dejó reposar por 10min (tiempo que dura la reacción) y luego se trasvasó la mezcla a una cubeta para posterior medir en el fotómetro. Los valores obtenidos fueron en unidades de mg/L.

### **Nitritos**

La determinación de nitritos se realizó a mediante el método estándar APHA 4500-NO<sub>2</sub>-A [67], con el Test Nitritos de la marca MERCK. Antes de comenzar con el análisis se filtraron a las muestras y se ajustó a un pH de 2 – 10 con ácido sulfúrico. En un tubo de ensayo se añadió 5ml de muestra preparada y 1 microcuchara de  $\text{NO}_2^{-1}$ , se mezcló completamente y se volvió a medir el pH, ya que debe estar en un rango de 2 – 2,5. Finalmente se dejó reposar por 10min (tiempo que dura la reacción) y luego se trasvasó la mezcla a una cubeta para posterior medir en el fotómetro. Los valores obtenidos fueron en unidades de mg/L.

### **Sulfatos**

La determinación de sulfatos se realizó con el método APHA 4500-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [67], mediante el Test Sulfatos de la marca MERCK. Antes de comenzar con el análisis se filtraron a las muestras y se ajustó a un pH de 2 – 10 con ácido clorhídrico o hidróxido de sodio, según fue el caso. En un tubo de ensayo se colocó 0,5 mL de  $\text{SO}_4^{-1}$ , a continuación, se añadió 5mL de muestra preparada y se mezcló. Luego se colocó 1 microcuchara de  $\text{SO}_4^{-2}$ , se mezcló completamente y se dejó reposar por 2min (tiempo que dura la reacción) y luego se trasvasó la mezcla a una cubeta para posterior medir en el fotómetro. Los valores obtenidos fueron en unidades de mg/L.



**Figura 18.** Determinación de sulfatos mediante el Test Sulfatos de la marca MERCK.

### Alcalinidad

Para la determinación de la alcalinidad del agua, se siguió el procedimiento estándar APHA 2320 B [67], el cual consistió primeramente en encontrar la concentración exacta del ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  0,02N, para lo cual se tomó 4 mL de  $Na_2CO_3$  0,05N y se adicionó 50mL de agua destilada. A continuación, se llenó la bureta con ácido sulfúrico y se procedió a titular hasta llegar a un pH de 4,5 y se anotó el volumen gastado. A continuación, se describe la siguiente fórmula que se utilizó para encontrar la normalidad correcta.

- Normalidad exacta del ácido sulfúrico 0,02N

$$N = \frac{A \times B}{53,00 \times C} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

A = peso de  $Na_2CO_3$  aforado a 1000mL (g)

B = volumen de solución de  $Na_2CO_3$  ocupada para la titulación (mL)

C = volumen de ácido sulfúrico empleado o gastado (mL)

En cuanto a la preparación de la muestra, se tomó una alícuota de 50mL y se tituló con ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  normalizado anteriormente hasta pH de 8,3, se anotó el volumen gastado (alcalinidad parcial) A continuación se siguió titulando la muestra hasta llegar a pH de 4,5 y se registró el volumen gastado (alcalinidad total)

$$\text{Alcalinidad} \frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{L}} = \frac{A \times N \times 50000}{V} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

A = volumen gastado de ácido (mL) hasta pH 4,5

N = normalidad del ácido estándar

V = volumen de la muestra (mL)

### **Dureza**

Para la determinación de la dureza se utilizó el método estándar APHA 2340 C [67], usando una solución amortiguadora (cloruro de amonio + sal de magnesio EDTA disuelto en amoniaco concentrado y agua destilada) e indicador negro de eriocromo T. Para la titulación de las muestras, en un matraz se colocó 50mL de muestra residual y se añadió 2mL de solución amortiguadora hasta pH de 10. Luego se adicionó una pequeña cantidad de indicador eriocromo negro T para que la muestra se torne de un color vino rojizo. Posteriormente se tituló con disolución EDTA 0,01M hasta que vire a color azul.

$$\text{Dureza total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times B \times 1000}{C} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

A = volumen de EDTA gastados en la titulación de la muestra (mL)

B = Molaridad EDTA (mol/L)

C = volumen de muestra (mL)

La disolución de carbonato de calcio 1mg/mL se colocó para separar los iones calcio y magnesio. Se pesó 1g de carbonato de calcio y se disolvió con ácido clorhídrico 1:1. Posterior se añadió 200mL de agua y se llevó a ebullición. Se dejó enfriar y se colocó indicador rojo de metilo. Se ajustó hasta un color naranja con ácido clorhídrico y se aforo a 1L.

#### **3.1.1.3. Determinación del Índice de Calidad General de agua NSF**

Los índices de calidad del agua –ICA– surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico, se definen como una expresión simple de una combinación de parámetros que sirve como indicador de la calidad del agua; el mismo que puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color [12].

La técnica empleada fue el Índice de Calidad de Agua “Water Quality Index” (WQI) de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos, que considera nueve parámetros para la caracterización del agua. Se analiza los parámetros a emplear, en caso de faltar alguno de los parámetros, el valor total del índice se calcula por distribución de peso entre los otros parámetros, se recalcula los valores de factor de ponderación y se prosigue con aplicar el valor subíndice de cada parámetro dependiendo de la curva de función de calidad NSF y el factor de ponderación [12] como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.1. Ejemplo De Calculo Del Índice NSF**

Parámetro	Resultado	Unidades	Q-valor	Factor de Ponderación	Subtotal
Oxígeno Disuelto	82	% sat	90	0.17	15.3
Coliformes Fecales	12	#/100 ml	72	0.16	11.52
pH	7.67	Unidades	92	0.11	10.12
DBO	2	mg/l	80	0.11	8.8
Cambio de T°	5	°C	72	0.10	7.2
Fosfatos Totales	0.5	mg/l PO4-P	60	0.10	6
Nitratos	5	mg/l NO3	67	0.10	6.7
Turbidez	5	NTU	85	0.08	6.8
Sólidos Totales	150	mg/l	78	0.07	5.46
<b>Sumatoria índice</b>					<b>77.9</b>

**Figura 19.** Tabla representativa de valores del factor de ponderación utilizado para el cálculo del ICA NSF

Para el cálculo del ICA NSF se emplea la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^n (I_i \times W_i) \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:  $I_i$  = Subíndice del parámetro  $i$

$W_i$  = Factor de ponderación para el subíndice  $i$  o peso de importancia

El resultado final del ICA es interpretado con los rangos y colores que se muestra en la tabla:

**Tabla 8.** Escala de clasificación del ICA

EXCELENTE 91 – 100	
BUENA 71 – 90	
MEDIA 51 – 70	
MALA 26 – 50	
MUY MALA 0 – 25	

**Fuente:** Quiroz, Izquierdo, & Menéndez [52].

### 3.1.2. Tipo de Investigación

#### - De Campo

Se realizaron muestreos en 10 puntos en la microcuenca del río Ambato, en la zona alta, media y baja tomando 3 muestras en cada punto determinados valores in situ de pH y temperatura.

*Tabla 9. Justificativos en la determinación de los puntos de muestreo de aguas naturales y superficiales*

<b>Sistema microcuencas 2876010201 del agua del Río Ambato</b>		
<b>Ítem No.</b>	<b>Sitio de muestreo</b>	<b>JUSTIFICATIVOS</b>
1	Canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo	Representa a las microcuencas: 2876010201, 2876010202, 2876010203, 2876010204, 2876010205 e indica la calidad de agua del río Ambato antes de la captación del canal de riego Ambato – Huachi – Pelileo.
2	Estación Hidrológica Huaico	Representa a la Microcuenca 2876010207, en la que se asientan las poblaciones de Pilaguin, Juan Benigno Vela y muchas viviendas dispersas.
2	Descarga Pasa	Tomada a la salida de las aguas tratadas de la Planta de Filtros Biológicos de la Parroquia de Pasa. Permite conocer la eficiencia de la Planta Depuradora.
4	Sector Aguajan	Muestra de Control. Permite conocer la calidad de las aguas del río Ambato antes de recibir las descargas de aguas residuales domésticas e industriales de la ciudad de Ambato.
5	Sector Tilulum	Representa al sector oriental de la Microcuenca 2876010210, en donde se asientan las poblaciones de Ambatillo, Quisapincha, San Bartolomé de Pinllo y otras.
6	Sector Parque El Sueño	Muestra de Control. Permite conocer la calidad de las aguas del río Ambato después de recibir las descargas de aguas residuales domésticas e

		industriales de la ciudad de Ambato. Aguas abajo del punto de muestreo, se produce la captación de esta agua para riego.
7	El Socavón	Muestra de Control. Permite conocer el grado de contaminación de las aguas residuales crudas de la ciudad de Ambato, las que, aguas abajo del punto de muestreo, son captadas para uso agrícola.
8	Paso Lateral	Muestra de Control. Permite conocer el grado de contaminación de las aguas residuales crudas de la ciudad de Ambato, las que, aguas abajo del punto de muestreo, son captadas para uso agrícola.
9	Puente de Quillán	Muestra de Control. Permite conocer el grado de contaminación de las aguas residuales crudas de la ciudad de Ambato, las que, aguas abajo del punto de muestreo, son captadas para uso agrícola.
10	Las Viñas	Muestra de Control. Permite conocer la calidad de las aguas del Canal Latacunga – Salcedo – Ambato, ingreso a la Provincia de Tungurahua, 20 kilómetros después de recibir las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y hospitalarias de la ciudad de Latacunga y otras poblaciones.

**Fuente:** SENAGUA. (2015) [74].

**- Experimental**

En el proyecto se busca determinar la variabilidad de 10 puntos muestreados en una frecuencia anual con dos campañas realizadas de muestreo mediante el análisis físico químico de 24 parámetros, los mismos que mediante el cálculo del índice de Calidad del agua se reflejará el nivel de contaminación a lo largo de la microcuenca del río Ambato.

**Tabla 10.** Elementos y Componentes analizados en el diseño experimental

ELEMENTOS		COMPONENTES	
1) CAMPAÑAS DE MUESTREO	DE	FASE 1 (F1):	Realizada el 29 de febrero de 2020
		FASE 2 (F2):	Realizada el 29 de mayo de 2021
2) PUNTOS DE MUESTREO	DE	P1:	Canal Huachi-Pelileo
		P2:	estación huaico
		P3:	Descarga Pasa
		P4:	Aguaján
		P5:	Tilulúm
		P6:	Parque "El Sueño"
		P7:	El Socavón
		P8:	Paso Lateral
		P9:	Quillán
		P10:	Las Viñas

**Fuente:** Elaboración propia.

En el diseño experimental se tomaron muestras por triplicado en cada punto mencionado en la Tabla 10, cada muestra fue homogenizada y conservada con el reactivo que se indica en la Tabla 7, luego fue transportada a los laboratorios en un cooler mantenidas a una temperatura adecuada. En los laboratorios las muestras fueron nuevamente homogenizadas por separado y analizadas, los valores obtenidos de las tres muestras por cada punto de control fueron promediadas en las dos fases de muestreo.

### 3.1.3. Hipótesis.

- **Hipótesis Nula:**

Los resultados del nivel de contaminación del río Ambato por la influencia de fuentes antropogénicas, mediante el análisis de la concentración de sus parámetros fisicoquímicos no presentan diferencias significativas en las dos campañas de muestreo.

- **Hipótesis Alternativa:**

Los resultados del nivel de contaminación del río Ambato por la influencia de fuentes antropogénicas, mediante el análisis de la concentración de sus parámetros fisicoquímicos presentan diferencias significativas en las dos campañas de muestreo.



#### **3.1.4. Variables de la Hipótesis**

- **Variable dependiente:**  
Concentraciones de los parámetros fisicoquímicos.
- **Variable independiente:**  
Campañas de muestreo.

## 4. CAPÍTULO IV

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Plan de monitoreo del río Ambato

El plan de monitoreo de calidad de agua del río Ambato se realizó como parte de la Fase 2 del Proyecto de Monitoreo de Calidad del río, basándose en las consideraciones y determinaciones de la Fase 1, cuyo proceso de muestreo y análisis de carácter crítico se replicó durante la segunda fase. Con el fin de determinar el nivel de contaminación del agua por efectos de las actividades antrópicas se llevaron a cabo de igual manera dos campañas de muestreo realizadas en las fechas correspondientes a febrero de 2020 y mayo de 2021 en 10 puntos ubicados a lo largo de la microcuenca del río tomando en cuenta la zona alta, media y baja desde el sector de Marcopamba, donde se encuentra el canal Huachi- Pelileo hasta el sector de las viñas, los parámetros geográficos y meteorológicos tomados In situ en cada punto de muestreo se indica en la siguiente Tabla.

**Tabla 11.** *Parámetros geográficos y condiciones meteorológicos tomados In Situ en los puntos de muestreo en las dos fases.*

PUNTOS DE MUESTREO		HORA DE TOMA DE LA MUESTRA		COORDENADAS GEOGRÁFICAS				TEMPERATURA (°C)		PRECIPITACIONES	
		F1	F2	F1		F2		F1	F2	F1	F2
				ESTE	NORTE	ESTE	NORTE				
P1	Canal Huachi-Pelileo	16:00 p.m	10:15 a.m	17M 749920	UTM 9858271	17M 743568	UTM 9858213	17,3	20,0	Ausencia	Ausencia
P2	Estación Huaico	15:15 p.m	10:55 a.m	17M 748890	UTM 9858183	17M 748822	UTM 9858440	17,4	20,0	Ausencia	Ausencia
P3	Descarga Pasa	14:00 p.m	11:23 a.m	17M 752452	UTM 9858133	17M 752186	UTM 9857885	18,3	20,0	Ausencia	Ausencia
P4	Aguaján	13:00 p.m	11:42 a.m	17M 754063	UTM 9858220	17M 760940	UTM 9860104	19,6	20,0	Ausencia	Ausencia
P5	Tilulum	12:00 p.m	12:00 a.m	17M 758733	UTM 9860158	17M 758196	UTM 9859966	22,3	22,0	Ausencia	Ausencia
P6	Parque "El Sueño"	11:00 a.m	9:01 a.m	17M 762144	UTM 9861366	17M 762155	UTM 9861388	24,1	21,0	Ausencia	Ausencia
P7	El Socavón	10:00 a.m	9:46 a.m	17M 764940	UTM 986414	17M 764908	UTM 9864153	21,2	22,1	Ausencia	Ausencia

P8	Paso Lateral	9:30 a.m	10:48 a.m	17M 766899	UTM 9862861	17M 767004	UTM 9862869	21,2	24,0	Ausencia	Ausencia
P9	Quillán	9:15 a.m	12:22 a.m	17M 765461	UTM 9861488	17M 772546	UTM 9863518	18,2	23,5	Ausencia	Ausencia
P10	Las Viñas	9:00 a.m	13:00 a.m	17M 769549	UTM 9861845	17M 771838	UTM 9863295	16,4	23,0	Ausencia	Ausencia

**Nota:** F1: Primera campaña de muestreo realizado el 29 de febrero de 2020; F2: Segunda campaña de muestreo realizado el 29 de mayo de 2021.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Ambato

Una vez tomado las muestras por triplicado en los 10 puntos de control en cada campaña y trasladado a los laboratorios de la universidad Técnica de Ambato, se realiza el análisis de 24 parámetros fisicoquímicos, los mismos que se muestran en la siguiente tabla.

Los análisis fisicoquímicos se compararon con los valores de límites máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria Libro VI Calidad Ambiental de Aguas del Ministerio de Ambiente [11].

**Tabla 12.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en los puntos 1 al punto 5 muestreados en las dos campañas.

PARÁMETROS			CANAL HUACHI PELILEO		ESTACIÓN HUAICO		DESCARGA PASA		SECTOR AGUAJAN		SECTOR TILULUM		NORMA TULSMA LMP ANEXO 2
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	
DESCRIPCION	UNIDADES	MÉTODO	SRA01-01	SRA01-02	SRA02-01	SRA02-02	SRA03-01	SRA03-02	SRA04-01	SRA04-02	SRA05-01	SRA05-02	
CARACTERISTICAS			POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCA TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	TURBIA	TURBIA	POCO TURBIA	TRANSPARENTE	
OXIGENO DISUELTO	mg/l	MAM-22/APHA 4500-O C MODIFICADO	6,42	5	6,3	3,7	8,4	6,6	6,47	6,9	7,6	6,8	No < 6
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	MAM-10/APHA 2510 B MODIFICADO	13	233	256	234	252	235	273	237	326	283	-
*TURBIDEZ	UNT	ESPECTROFOTOMÉTRICO MERCK	59	<10	10	16	3	10	118	193	8	24	100
pH		POTENCIOMÉTRICO	8,2	7,5	8,55	7,69	8,41	7,18	8,14	7,97	7,91	7,9	6,5 - 9
HIERRO	mg/l	APHA 3111 B	3,38	1,23	0,07	0,13	0,26	0,09	5,74	4,77	0,32	0,17	0,3
ARSENICO	mg/l	APHA 3114 B	0,0044	0,0021	0,0009	0,0016	0,0011	0,0013	0,005	0,0022	0,0048	0,002	0,05
CADMIO	mg/l	APHA 3111 D	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	5,66	<0,40	0,001
NIQUEL	mg/l	APHA 3111 B	20,43	9,31	18,72	18,06	19,85	18,61	24,28	16,65	25,12	23,51	0,025
PLOMO	mg/l	APHA 3111 B	3,2	3,3	3,7	5	3,5	5	3,5	5	0,4	6,5	0,2
CALCIO	mg/l	APHA 3500-Ca B	15,1	29,7	26,4	27,6	26,3	27,3	29,1	28,6	36,3	33,2	-
MAGNESIO	mg/l	APHA 3500-Mg B	9,7	6,8	9,6	7,5	10,7	6,4	8,9	5,1	9,8	5,6	-

DQO	mgO <sub>2</sub> /l	COLORIMETRICO MERCK	14	<8	23	22	17	9	10	8	16	10	40
AMONIACO	mg/l	COLORIMETRICO MERCK MODIFICADO	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	<0,17	0,22	0,23	<0,17	0,18	0,02
DBO5	mgO <sub>2</sub> /l	APHA 5210 B	1	2	8	7	5	2	4	3	3	2	20
NITRATOS	mg/l	APHA 4500-NO3-B	0,6	1,3	0,8	1,3	0,8	1,3	1	1,4	0,7	1,2	-
*NITRITOS	mg/l	COLORIMETRICO MERCK	0,007	0,004	0,006	0,005	0,054	0,003	0,02	0,005	0,013	0,044	60
FOSEFATOS	mg/l	APHA 4500-P, C	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,1	0,6	0,2	0,2	-
SULFATOS	mg/l	TURBIDIMETRICO MERCK	<7	14	14	13	14	14	19	15	20	18	-
*COLOR	HAZEN	APHA 2120 C	57	18	22	16	16	16	94	144	24	23	-
SOLIDOS TOTALES	mg/l	APHA 2540 B	175	218	193	162	189	164	308	452	229	214	1600
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	APHA 2540 D	34	57	9	14	8	14	124	284	11	24	100
ALCALINIDAD	mgCaCO <sub>3</sub> /l	APHA 2320 B	54	96	104	117	96	108	100	105	122	105	-
DUREZA TOTAL	mgCaCO <sub>3</sub> /l	APHA 2340 C	78	130	105	131	110	121	109	113	131	129	-
CLORUROS	mg/l	APHA 4500 CL, B	9	11	11	11	13	12	15	12	21	16	-
ACEITES Y GRASAS	mg/l	APHA 5520 B	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	0,3

**Nota:** F1: Primera campaña de muestreo realizado el 29 de febrero de 2020; F2: Segunda campaña de muestreo realizado el 29 de mayo de 2021.

**Fuente:** Elaboración propia.

*Tabla 13. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en los puntos 6 al punto 10 muestreados en las dos campañas*

PARÁMETROS			PARQUE EL SUEÑO		EL SOCABON		PASO LATERAL		SECTOR QUILLAN		SECTOR LAS VIÑAS		NORMA TULSMA LMP
			F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	
DESCRIPCION	UNIDADES	MÉTODO	SRA06-01	SRA06-02	SRA07-01	SRA07-02	SRA08-01	SRA08-02	SRA09-01	SRA09-02	SRA10-01	SRA10-02	
CARACTERISTICAS			POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	POCO TURBIA	
OXIGENO DISUELTO	mg/l	MAM-22/APHA 4500-O C MODIFICADO	4,1	6,4	7,91	7	7,7	5,9	0,2	5,9	4,32	7,5	No < 6
CONDUCTIVIDAD	µS/ cm	MAM-10/APHA 2510 B MODIFICADO	291	261	327	283	322	281	324	280	323	273	-
*TURBIDEZ	UNT	ESPECTROFOTOMÉTRICO MERCK	1	13	14	14	4	11	25	23	10	25	100
pH		POTENCIOMÉTRICO	7,73	7,75	8,32	7,77	8,07	7,65	8,18	7,41	7,22	7,7	6,5 - 9
HIERRO	mg/l	APHA 3111 B	0,3	0,22	0,21	0,26	0,24	0,23	1,86	0,23	0,24	0,18	0,3
ARSENICO	mg/l	APHA 3114 B	0,003	0,002	0,003	0,002	0,005	0,002	0,008	0,002	0,005	0,002	0,05
CADMIO	mg/l	APHA 3111 D	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	0,001
NIQUEL	mg/l	APHA 3111 B	22,44	19,06	22,6	18,62	22,42	20,33	36,36	18,24	22,72	17,26	0,025
PLOMO	mg/l	APHA 3111 B	4,8	4,8	6,2	5,2	6,4	6,2	7,4	5,5	6,2	5,3	0,2
CALCIO	mg/l	APHA 3500-Ca B	33,1	32,4	38,2	34,8	39,9	36,5	40,7	33,8	36,8	30,1	-
MAGNESIO	mg/l	APHA 3500-Mg B	5,7	7,7	8,4	6,4	8,4	5	6,8	4,6	12,7	5,4	-

<b>DQO</b>	mgO <sub>2</sub> /l	COLORIMETRICO MERCK	13	<8	16	<8	20	26	22	<8	16	13	40
<b>AMONIACO</b>	mg/l	COLORIMÉTRICO MERCK MODIFICADO	< 0,17	< 0,17	0,19	0,2	< 0,17	0,19	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	0,02
<b>DBO5</b>	mgO <sub>2</sub> /l	APHA 5210 B	2	2	2	2	6	9	7	1	2	2	20
<b>NITRATOS</b>	mg/l	APHA 4500-NO3-B	0,6	1	0,5	1	0,5	0,9	0,7	1	0,6	1,1	-
<b>*NITRITOS</b>	mg/l	COLORIMÉTRICO MERCK	0,071	0,004	0,053	0,009	0,044	0,011	0,011	0,004	0,107	0,005	60
<b>FOSFATOS</b>	mg/l	APHA 4500-P, C	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	-
<b>SULFATOS</b>	mg/l	TURBIDIMETRICO MERCK	19	16	21	18	19	18	21	18	19	19	-
<b>*COLOR</b>	HAZEN	APHA 2120 C	23	22	19	21	19	25	33	36	18	29	-
<b>SOLIDOS TOTALES</b>	mg/l	APHA 2540 B	213	188	228	198	227	172	255	1144	232	210	1600
<b>SOLIDOS SUSPENDIDOS</b>	mg/l	APHA 2540 D	39	9	24	17	23	21	41	958	25	22	100
<b>ALCALINIDAD</b>	mgCaCO <sub>3</sub> /l	APHA 2320 B	110	131	127	124	123	124	120	124	122	108	-
<b>DUREZA TOTAL</b>	mgCaCO <sub>3</sub> /l	APHA 2340 C	106	145	130	139	134	132	130	122	144	120	-
<b>CLORUROS</b>	mg/l	APHA 4500 Cl, B	15	12	19	15	17	14	19	14	17	12	-
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	mg/l	APHA 5520 B	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	0,3

**Nota:** F1: Primera campaña de muestreo realizado el 29 de febrero de 2020; F2: Segunda campaña de muestreo realizado el 29 de mayo de 2021.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.3. Determinación del Índice de Calidad General del Agua NSF

Para la determinación del índice de calidad del agua se tomó en cuenta que de los nueve parámetros que establece el método solo se disponía de siete de ellos, por lo que se procedió a realizar la distribución de los pesos entre los demás parámetros, para la obtención de los nuevos valores de ponderación de los parámetros, a continuación se calculó los subíndices  $I_i$  para cada parámetro obteniendo el valor directo de las curvas de función matemática o mediante interpolación de los valores en las mismas.

**Tabla 14.** Valores del ICA de la fase 1 y fase 2 de los puntos muestreados y analizados aplicando la fórmula  $ICA = \sum_{i=1}^n (I_i \times W_i)$

ICA = Ii*Wi																				
PARÁMETROS	HUACHI - PELILEO		ESTACION HUAICO		DESCARGA PASA		SECTOR AGUAJAN		SECTOR TILULUM		PARQUE EL SUEÑO		SOCABON		PASO LATERAL		QUILLÁN		LAS VIÑAS	
	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2
OXIGENO DISUELTO	0,674	0,525	0,662	0,389	0,882	0,693	0,678	0,725	0,798	0,714	0,431	0,672	0,830	0,735	0,809	0,620	0,021	0,620	0,454	0,788
pH	11,700	14,100	9,863	13,587	10,598	13,716	12,015	12,831	12,993	13,020	13,479	13,425	11,070	13,371	12,383	13,695	11,805	13,992	13,764	13,560
DBO5	13,446	12,147	6,299	6,950	8,250	12,147	9,549	10,848	10,848	12,147	12,147	12,147	12,147	12,147	7,599	5,649	6,950	13,446	12,147	12,147
*TURBIDEZ	4,057	10,496	9,197	7,999	11,016	9,197	0,600	0,600	9,716	6,799	11,536	8,598	8,398	8,398	10,757	8,998	6,700	6,900	9,197	6,700
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	8,745	8,492	8,240	8,643	8,273	8,613	8,240	8,416	7,800	8,175	8,350	8,295	8,006	8,273	8,006	8,602	7,860	8,218	7,962	8,196
NITRATOS	13,580	13,090	13,440	13,090	13,440	13,090	13,300	13,020	13,510	13,160	13,580	13,300	13,650	13,300	13,650	13,370	13,510	13,300	13,580	13,230
FOSFATOS	6,440	12,320	12,320	12,320	12,320	12,320	3,556	8,960	12,320	12,320	11,480	12,320	12,320	12,320	11,480	12,320	8,960	11,480	11,480	11,480
Σ ICA	58,642	71,170	60,019	62,977	64,779	59,776	47,938	55,400	67,986	66,335	71,002	68,757	66,420	68,544	64,683	63,253	55,805	67,956	68,583	66,100

**Nota:** F1: Primera campaña de muestreo realizado el 29 de febrero de 2020; F2: Segunda campaña de muestreo realizado el 29 de mayo de 2021.

**Fuente:** Elaboración propia.

## **4.2. Análisis de Resultados**

### **4.2.1. Parámetros geográficos y condiciones meteorológicas.**

El plan de monitoreo para determinar la calidad de agua del río Ambato se realizó en dos campañas: la primera se llevó a cabo el 29 de febrero de 2020 en 10 puntos que inició desde el sector de Las Viñas, Puente Quillán, Paso Lateral, Socavón, Parque El Sueño, Tilulum, Aguajan, Descarga Pasa, Estación Huaico y canal Huachi Pelileo, el muestreo se realizó desde las 9:00 a.m. iniciando por la zona baja del río luego se continuó por la zona media y alta hasta las 16:00 p.m. que se realizó la última toma de muestra, durante todo este proceso hubo ausencia de precipitaciones a lo largo de la microcuenca, presentando temperaturas ambientes entre los 16,4 a 24,1 °C.

En la segunda campaña de muestreo realizada el 29 de mayo de 2021 en los diez puntos mencionados anteriormente se inicia desde las 9:00 a.m. hasta las 13:00 p.m. desde el parque El Sueño zona centro, luego zona alta y baja de la cuenca del río, no hubo presencia de precipitaciones y la temperatura ambiente tuvo una variación entre los 20 a 24 °C.

### **4.2.2. Resultados de los parámetros analizados en los 10 puntos de muestreo en las dos campañas.**

#### **Oxígeno Disuelto**

Los resultados de la fase 1 muestran que el oxígeno disuelto no se encuentra dentro del límite máximo permisible en determinadas zonas de la cuenca del río Ambato tales como el sector de parque El Sueño (P6), sector de Quillán (P9) y sector Las Viñas (P10) con base a la norma TULSMA [11], que indica el límite máximo, en aguas superficiales con fines de preservación de la flora y la fauna para aguas frías dulces, en valores no menores a 6 mg/L. En la fase 2 el oxígeno disuelto no se encuentra dentro del límite permisible en los sectores de canal Huachi-Pelileo (P1) y estación Huaico (P2) mientras que en el sector del Paso Lateral (P8) y sector de Quillán (P9) se encuentran al borde del valor mínimo permitido, los otros sectores tanto en la fase 1 y 2 muestran valores mayores al límite permisible, como se muestra en el Gráfico 1. Siendo así que en ambas fases de muestreo se tiene en común un valor que está por debajo del límite que es el punto 9 sector de Quillán que pertenece a la zona baja del río Ambato.

De acuerdo con el Análisis de Varianza (Anova de un factor) aplicado al estudio, a un nivel de confianza del 95%, se obtuvo que las medias de ambas fases de muestreo no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los valores de  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , siendo 5,937 y 6,164 las medias de la fase 1 y fase 2 respectivamente. Dentro de este análisis de varianza también se pudo observar que el conjunto de datos de la fase 2 presentaron mayor valor en su sumatoria, reflejando valores más altos de oxígeno disuelto, como se ve en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para Oxígeno Disuelto

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	167	16,7	16,233
2	10	112	11,2	51,733

**Fuente:** Elaboración propia.

Tomando en cuenta los resultados de otra investigación orientada al estudio de la contaminación del río Ambato en el año 2019 y 2020 [8], cuyos puntos de muestreo pertenecen a la zona media y baja del río, en el año 2019 presentaron valores de oxígeno disuelto por dentro del límite permisible que implica no tener valores inferiores a 6  $\text{mg/L}$  con excepción de un punto ubicado en el sector de Las Viñas que estuvo por debajo del valor estipulado. Mientras que en la temporada del año 2020 hubo diferencias entre dicho estudio y la presente investigación ya que en el antes mencionado todos los puntos de la zona media y baja del río estuvieron por debajo del límite.

Es así, que los resultados previamente señalados reflejan que en base a la zona el río presenta mayor o menor afectación, teniendo en cuenta el recorrido y observación realizada en ambas campañas de muestreo fue posible distinguir los alrededores de los sectores muestreados, por ejemplo la zona alta es conocida como zona de montaña y con poco asentamiento humano por lo que suele haber presencia de vida acuática y usarse el agua para cultivo, la zona media conocida como de valles planos tiene poca presencia de vida acuática por lo que su uso suele ser agrícola y la zona baja caracterizada por estar influenciada de gran parte de la actividad antropogénica de la ciudad de forma que mayormente no es apta para riego.

Por otro lado, revisando otros ríos de la región sierra, en un estudio en el año 2015 realizado en los ríos Machángara y Monjas en Pichincha, los resultados presentan un comportamiento oscilante similar a los obtenidos, pese a que son ríos que tienen

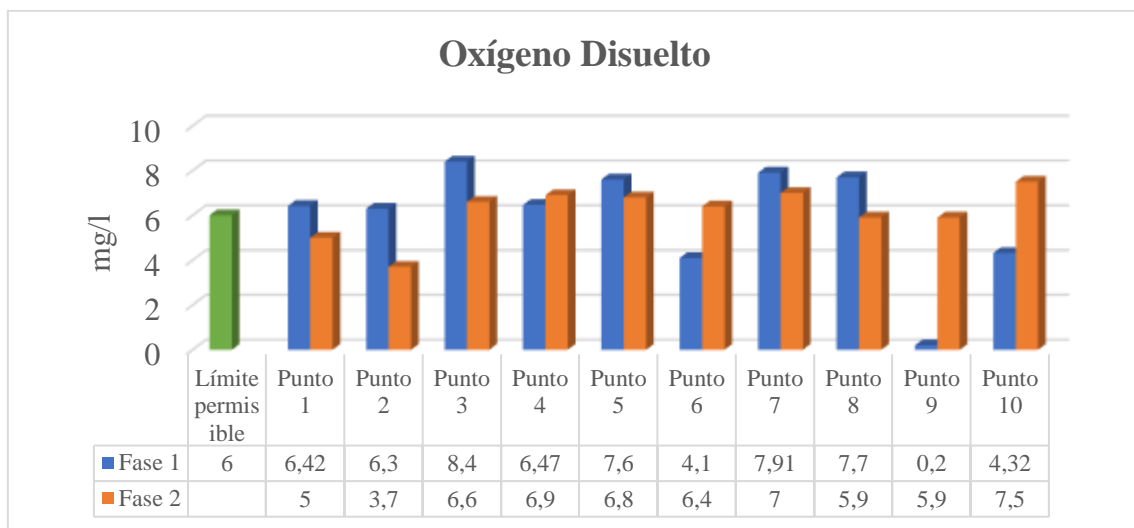


características similares estos presentaron valores de 7,01 mg/L y 5,50 mg/L respectivamente, de forma que uno se encontró por encima y el otro por debajo del límite máximo permisible del TULSMA [11].

Según lo señalado por el autor [75], gran parte de los ríos del país que se encuentran aledaños a zonas urbanas y domésticas tienen tendencia de presentar altos niveles de contaminantes y residuos de pesticidas, que son medidos a través de niveles de parámetros como Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), fósforo, nitrógeno, y otros, especialmente en zonas muy pobladas.

Los valores de oxígeno disuelto se ven influenciados ante factores propios del cuerpo de agua como lo es la agitación propia del curso del río, a su vez debido a la temperatura cuya relación con los valores de oxígeno disuelto son inversamente proporcionales [76]. Así como también que el oxígeno disuelto está relacionado con el potencial redox ORP, si el potencial disminuye en presencia de alta carga microbológica, a su vez disminuirá el oxígeno disuelto [76]. Sin embargo, esta condición se ve afectada cuando interviene el parámetro temperatura, es así como pese a que haya altos valores de potencial Redox el oxígeno disuelto puede disminuir debido a valores altos de temperatura [77].

De acuerdo con el autor [77], si se presentaron diferencias en las temperaturas una posible causa es la característica que presenta la zona de muestreo en presencia o ausencia de vegetación, clima seco, volumen de agua, de manera que cuando suele haber una mayor incidencia de los rayos solares se genera un incremento de la temperatura de las aguas.



**Gráfico 1.** Resultados de Oxígeno Disuelto en mgO<sub>2</sub>/L en ambas fases de muestreo

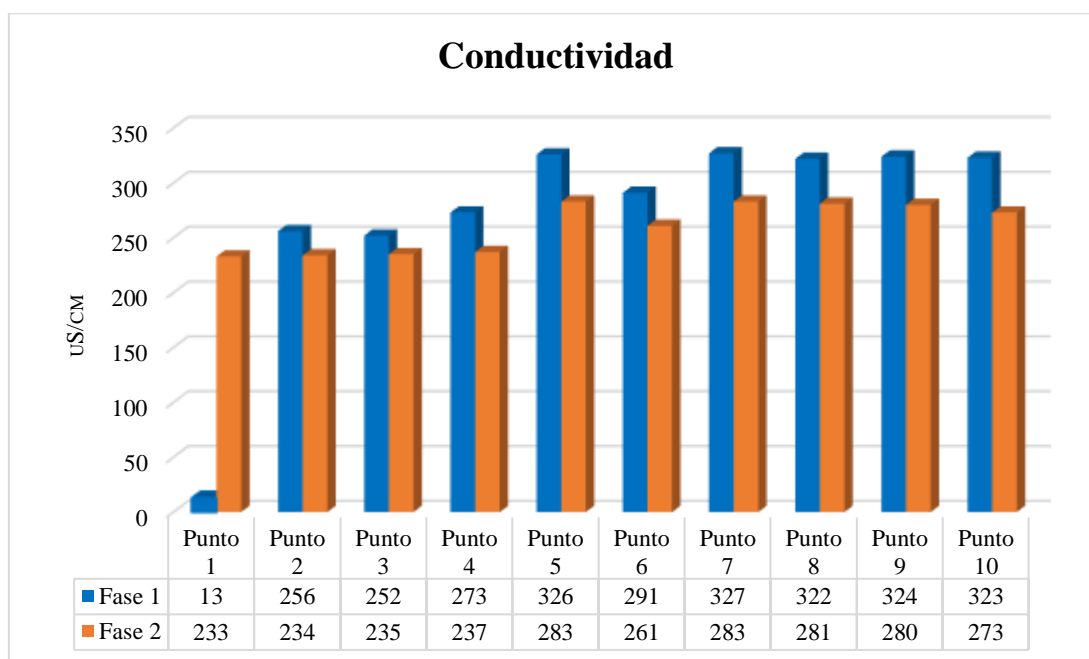
## Conductividad

Los valores de conductividad medidos a lo largo del río Ambato presentaron valores mínimos y máximos de 13 a 327 uS/cm en la fase 1 mientras que en la fase 2 de 233 a 283 uS/cm. Desde el punto 5 del sector de Tilulum en adelante hasta el punto 10 del sector Las Viñas los valores de conductividad fueron en aumento en ambas fases de muestreo, evidenciando un patrón de conducta similar donde las principales actividades antropogénicas tienen mayor influencia a lo largo de la zona media y baja del río (Gráfico 2). Esto se corroboró con el Análisis de Varianza (Anova de un factor) para ambas fases de muestreo en las cuales no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre fases, pero si fue posible analizar que la fase 1 tuvo valores más altos que la fase 2, como se observa en el Tabla 16.

**Tabla 16.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para Conductividad

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	2831	283,1	3528,544
2	10	2600	260	514,222

**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfico 2.** Resultados de Conductividad en  $mgO_2/L$  en ambas fases de muestreo

La caracterización de la calidad del agua con respecto a la conductividad eléctrica depende de la presencia de iones disueltos como también de la temperatura, esta puede

señalarse dentro de un rango de calidad pura, poco contaminada, contaminada, muy contaminada y excesivamente contaminada de acuerdo con el autor [78] si los valores del agua son <280, de 280-430, 430-600, 600-860 y >860, respectivamente. De esto puede indicarse que en ambas fases de muestreo la calidad del agua se encontró en un rango de poca contaminación y fue incrementando a largo de los puntos.

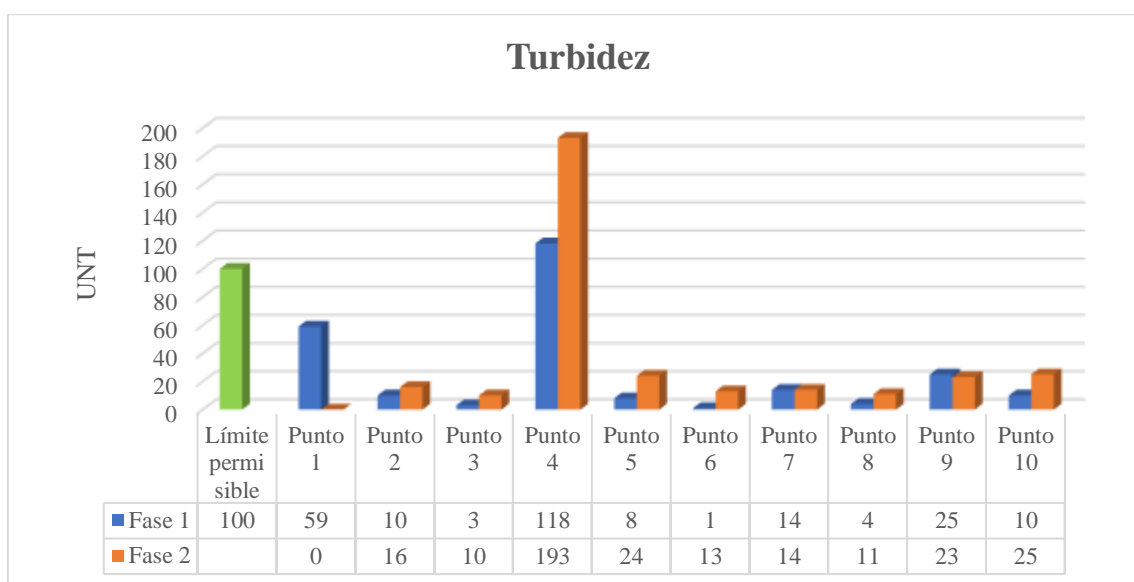
Con respecto a valores mencionados en un estudio en el río Ambato en el año 2011 presentaron valores de conductividad entre 323 uS/cm en el segundo periodo de estudio mientras que para la primera etapa obtuvieron valores de hasta 702 uS/cm [78], identificando la calidad del agua como muy contaminada y con el paso del tiempo como agua poco contaminada. Esto fue lo opuesto a lo que se obtuvo en la presente investigación.

En años posteriores, en un estudio de la calidad del agua en el río Ambato en nueve puntos de muestreo a lo largo de la microcuenca, analizaron entre sus parámetros la conductividad del cuerpo de agua en dos períodos que cubrieron la época de sequía y de lluvia en el año 2015 y 2016, obteniendo uno de los valores más altos de conductividad en uno de sus puntos con un valor de 986 uS/cm mientras que los demás valores presentaron una pequeña disminución en la época lluviosa [59].

En general las variaciones de conductividad como por ejemplo la presencia de altos valores de acuerdo con los autores [79], suelen detectarse en meses de poca precipitación en los cuales el caudal reducido genera la presencia de sólidos totales u otros residuos como sulfatos, sin embargo, la caída de caudal genera que pocas personas hagan uso o accedan a este recurso por lo que suelen medirse valores bajos de nitritos y nitratos. De igual manera los autores [80], mencionan que la conductividad en cuerpos de agua como ríos y corrientes depende de la forma y estructura de los alrededores a la zona de influencia, tal es el caso de la presencia de granito y arcilla en una corriente, cuando se trata de arcilla, ésta tiende a elevar la conductividad debido a que este material se ioniza al estar en contacto con agua mientras que lo contrario pasa con el granito ya que este es un compuesto inerte que no ioniza en contacto con agua. Otros ejemplos que afectan la conductividad son el caso de derrames de aguas residuales los cuales producen altos valores de conductividad por llevar consigo iones de nitrato, cloruro y fosfato, por otra parte, residuos de aceites, fenoles o alcoholes disminuyen este parámetro.

## Turbidez

Los valores de turbidez obtenidos de los muestreos realizados tanto en la fase 1 y 2 indican que la calidad del agua con respecto a este parámetro se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma TULSMA que señala como valor máximo 100 UNT, con excepción del punto que pertenece al sector de Aguajan (P4) el cual en ambas fases de muestreo refleja un valor superior al permitido (Gráfico 3), fue posible notar que en esta zona existen asentamientos urbanos cercanos al río y con ello viene la realización de actividades antrópicas propias de estos asentamientos como actividades de lavado, uso de agua para riego y diversas actividades comerciales de los habitantes de la zona.



**Gráfico 3.** Resultados de Turbidez en UNT en ambas fases de muestreo

Del análisis de varianza (Anova de un factor) a un nivel de confianza del 95%, se pudo estimar la correlación de los datos medidos para ambas fases de muestreo, cuyas medias no presentaron diferencias estadísticamente significativas, a su vez con esta comparación (Tabla 17) se analizó que los valores de la fase 2 fueron mayores a lo largo de los puntos muestreados, como se observa en el Gráfico 3, con pequeñas diferencias como en el sector Huachi Pelileo (P1) y sector Quillán (P9) cuyos valores fueron mayores en la fase 1, mientras que en el sector Socavón (P7) ambas fases de muestreo presentaron mediciones iguales.

**Tabla 17.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para Turbidez

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1	10	252	25,2	1351,733
2	10	337,93	33,793	3164,564

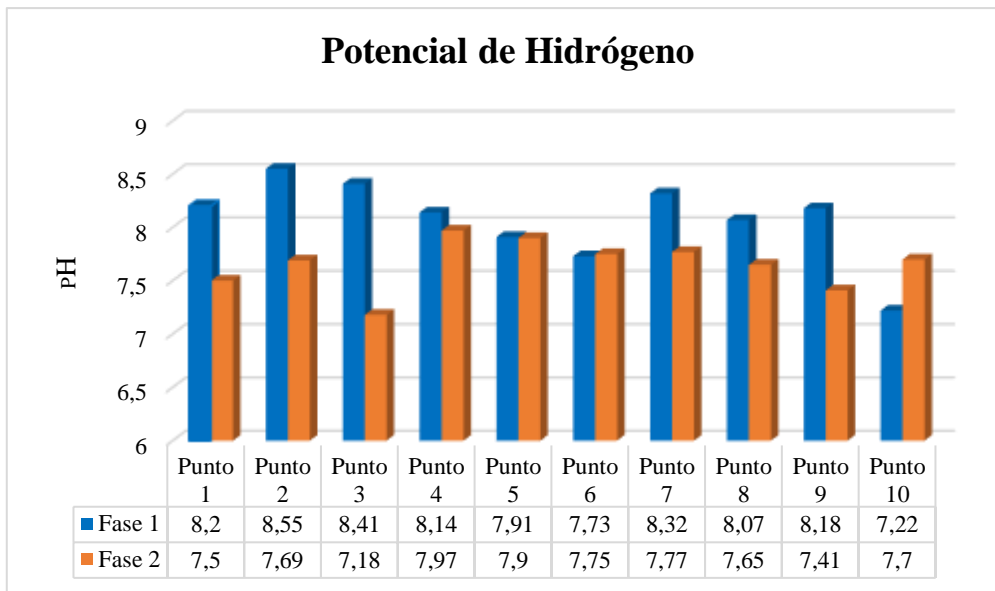
**Fuente:** Elaboración propia.

La medida de turbidez refleja a aquellos sólidos que permanecen suspendidos por efecto de su densidad y su interacción con las propiedades del agua [59]. Por lo que los valores de turbidez y sólidos suspendidos tienen una relación directamente proporcional, dentro de este tipo de componentes se encuentran partículas de tamaño pequeño como coloides, arcillas, limos y otros.

Considerando el estudio de la calidad del agua del río Ambato en el año 2019 y 2020, de acuerdo con la autora [8], respecto a los valores que obtuvo de turbidez, señala que los sectores de mayor incidencia de sólidos suspendidos reflejados en la medida de turbidez fueron los pertenecientes al sector de Parque de E Sueño y el sector de Las Viñas, sin embargo, estos valores se encontraron dentro del límite permisible de la norma TULSMA.

#### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Las mediciones de pH señalan principalmente a los sectores de Estación Huaico (P2), Descarga Pasa (P3), el Socavón (P7) y Canal Huachi Pelileo (P1) como los valores más altos de pH, en un rango de 8,5 a 8,2 por otra parte el más bajo fue en 7,22 en Las Viñas (P10) durante la fase 1. Mientras que en la fase 2 la mayoría de las mediciones presentaron similitud dentro de un rango de 7,9 a 7,6, siendo los sectores de Aguajan (P4), Tilulum (P5), el Socavón (P7) y Parque El Sueño (P6) los más altos, y los puntos más bajos estuvieron con valores de 7,41 sector Quillán (P9) y 7,18 sector Descarga Pasa (P3) (Gráfico 4). Estos valores con respecto a la norma TULSMA se encuentran dentro del límite máximo permisible de 6,5 a 9, en ambas campañas de muestreo.



*Gráfico 4. Resultados de pH en ambas fases de muestreo*

Comparando los valores de pH en el estudio de la autora [8], refleja que para el año 2019 las mediciones en la zona media y baja del río Ambato estuvieron en un rango de pH de 4,82 a 6,88, de los cuales estuvieron por fuera del límite permisible los sectores de parque El Sueño, el Socavón, Paso Lateral y Las Viñas. Tomando en cuenta los factores de influencia entorno a las áreas muestreadas se puede señalar la presencia de actividad agrícola y doméstica, además, de la presencia de canteras, avícolas y curtiembres. Otro punto por señalar es lo mencionado en ese estudio que infiere en considerar el transcurso del tiempo ya que muchas de las actividades antropogénicas tienen mayor incidencia a determinadas horas del día, siendo que en horas de la mañana las mediciones tienen valores constantes, bajos y dentro de los límites permisibles por el contrario cuando se trata de horas de la tarde cuando existe mayor actividad especialmente industrial, doméstica y comercial que influye en las zonas cercanas al río.

De acuerdo con el autor [59], la medida del potencial de Hidrógeno es fundamental en medios acuáticos como ríos y mares ya que desempeña un papel importante en el ambiente para el desarrollo de organismos. Así también las variaciones de un rango de pH tienen varios efectos entre ellos cuando los niveles son muy bajos la calidad del cuerpo de agua se ve alterada por la presencia de sustancias con niveles considerables de toxicidad, por ejemplo, este parámetro se relaciona con otros factores como la temperatura, la presencia de sedimentos y otras sustancias, que pueden brindar las condiciones óptimas para el desarrollo de bacterias.

## Metales Pesados Fe, As, Cd, Ni, Pb, Ca, Mg

De las mediciones realizadas sobre la concentración de metales pesados a lo largo de la zona alta, media y baja del río Ambato fue posible analizar que del total de 7 metales pesados analizados 5 se encontraron por fuera del límite máximo permisible.

Teniendo en cuenta lo mencionado por el autor [81] quien realizó un estudio sobre la concentración de metales pesados en el canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato en Latacunga, es importante realizar un monitoreo de la concentración de metales pesados en ríos, suelo y vegetación debido a las diversas fuentes de contaminación. La afectación va en aumento debido a la forma de transmisión de estos, ya que estos afectan inicialmente a ríos, vegetación y escalan hasta llegar por la cadena trófica a ser humano, he aquí la importancia de su análisis de toxicidad y concentración a lo largo del tiempo.

Por otra parte, como se menciona en la investigación sobre evaluación de metales pesados en el canal de riego Ambato-Pelileo en Ambato [82], los metales pesados pueden encontrarse en bajas concentraciones, pero debido al aumento de actividad industrial y desechos de diversas fuentes han provocado que estos compuestos se acumulen y desencadenen en otros efectos colaterales como poner en riesgo el agua que se usa para riego de cultivos y suelos.

## Hierro

Las concentraciones de hierro medidas en ambas fases de muestreo en su mayoría se encontraron dentro del límite máximo permisible 0,3 mg/L, siendo los sectores de Aguajan (P4), canal Huachi Pelileo (P1) y sector Quillán (P9), los puntos con mediciones más visibles en el Gráfico 5 con valores que están por encima de 1 mg/L. De acuerdo con el análisis de varianza de un factor las mediciones de ambas fases no presentan diferencias estadísticamente significativas (Tabla 18), dentro de este análisis se observa que los valores de concentración del metal hierro en la fase 1 están ligeramente por encima a los valores de la fase 2.

*Tabla 18. Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de hierro*

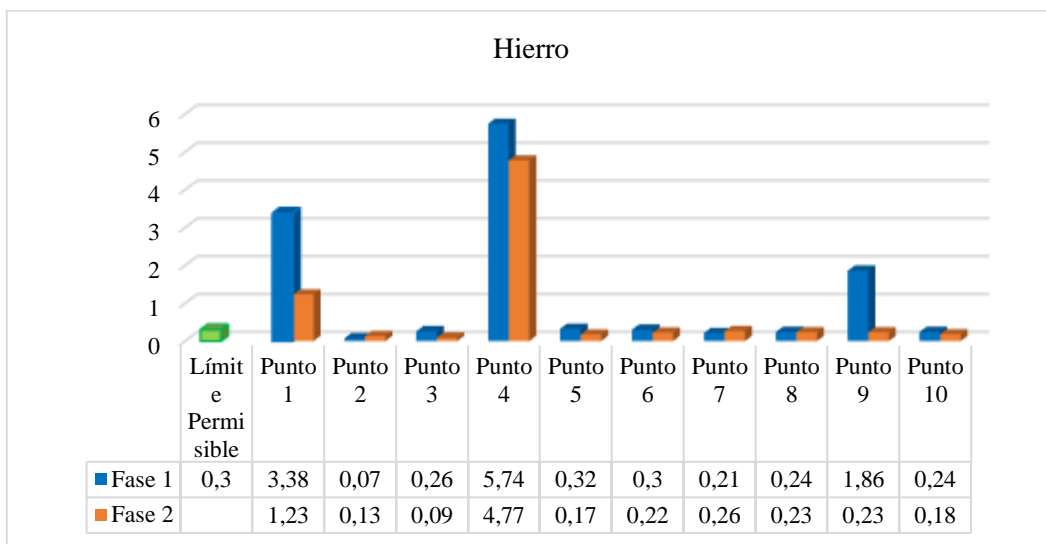
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	12,62	1,262	3,592
2	10	7,51	0,751	2,104

**Fuente:** Elaboración propia.

Como menciona el autor de un estudio de la concentración de metales pesados en el río Chiminero en Perú en el año 2019 [83], cuando existe hierro y magnesio en un cuerpo de agua por lo general sus efectos se manifiestan en su coloración que tiende a ser rojiza. Dentro de los factores que más desencadenan la generación de este tipo de metales se encuentran la minería artesanal, sin embargo, recomiendan considerar que este tipo de metal pesado por efecto del clima y temporada lluviosa suele diluirse en el agua, por el contrario, cuando se trata de época de estiaje su concentración aumenta.

Además, en adición a lo anterior de acuerdo con el autor [84], este tipo de metal pesado suele estar presente en el suelo y rocas en su forma insoluble, pero por diversas reacciones llega a contaminar fuentes de agua debido a la formación de hierro soluble especialmente en aguas de tipo subterránea, como también suele favorecer el desarrollo de bacterias que utilizan al hierro como sustrato.

Comparando lo señalado por el estudio de cepas bacterianas resistentes a metales pesados en el canal de riego Latacunga- Salcedo-Ambato en el año 2016 [85] se menciona que la solubilidad de los minerales en suelos, se ve afectada por las variaciones de pH, esto afecta a los cultivos quienes absorben estos minerales, así como también en torno a las valoraciones de los metales pesados ya que la concentración de algunos metales pesados como hierro, aluminio y cadmio solubles suele aumentar con la acidez del medio. Los resultados de concentración de hierro en relación con los valores de pH mostraron la relación antes mencionada ya que los valores de pH fueron más básicos a lo largo del río, solo los puntos de P1, P4, P9, tuvieron valores de hierro un poco más altos al resto y pH ligeramente más bajos.



**Gráfico 5.** Resultados de concentraciones de Hierro en ambas fases de muestreo



## Arsénico

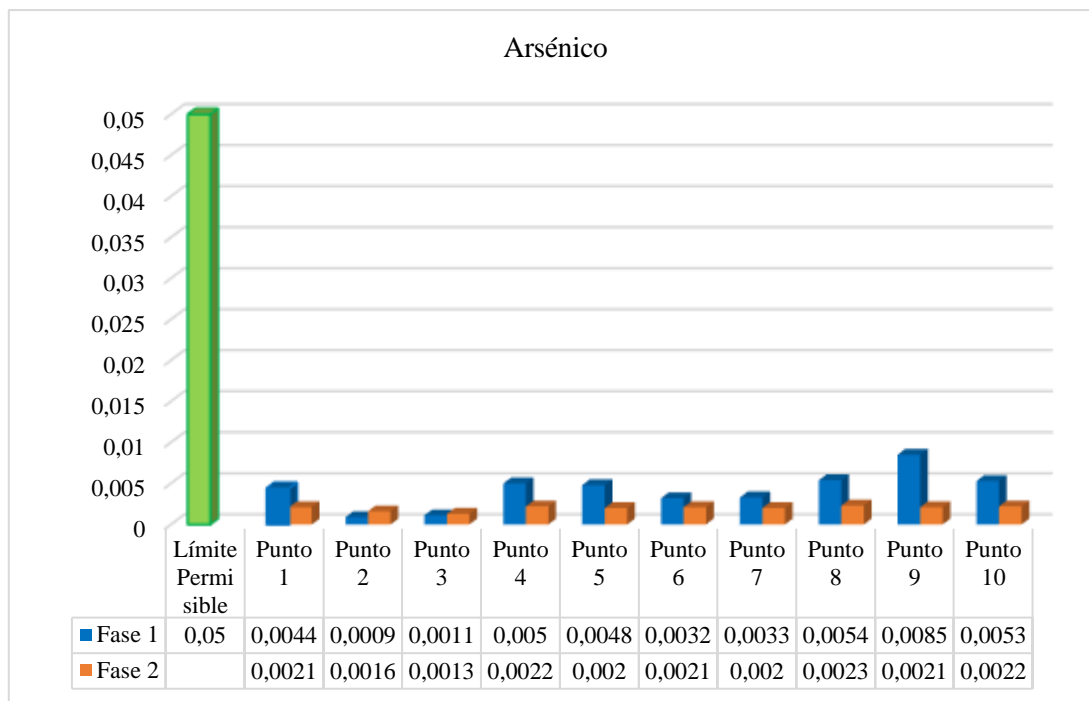
Los valores de concentración de arsénico en ambas fases de muestreo estuvieron dentro del límite máximo permisible 0,05 mg/L como se observa en el Gráfico 6. Dentro del mismo el sector que presentó más trazas de este metal fue en el sector Quillán (P9) caracterizado por estar en la zona baja del río que se encuentra influenciada por la descarga de aguas residuales industriales y domésticas, además de la presencia de canteras. En el análisis de varianza Anova de un factor se estimó que la concentración del metal arsénico en ambas fases de muestreo presentó diferencias estadísticamente significativas, en el cual los valores de la fase 1 presentaron una media mayor a la fase 2 (Tabla 19).

*Tabla 19. Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de arsénico*

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
1	10	0,0419	0,00419	4,943E-06
2	10	0,0199	0,00199	9,433E-08

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo con información del estudio [85] señala que con base a datos de la Secretaría del Agua (SENAGUA) de una investigación en el año 2009 y 2010 se determinaron contaminantes de tipo tóxicos, patógenos y biológicos con valores por encima de los límites permisibles de la normativa como por ejemplo arsénico, cromo, cadmio, selenio y manganeso que terminan por afectar aproximadamente 17000 familias de las Provincias de Cotopaxi y Tungurahua zona Norte, que emplean el agua para sus cultivos.



**Gráfico 6.** Resultados de concentraciones de Arsénico en ambas fases de muestreo

### Cadmio

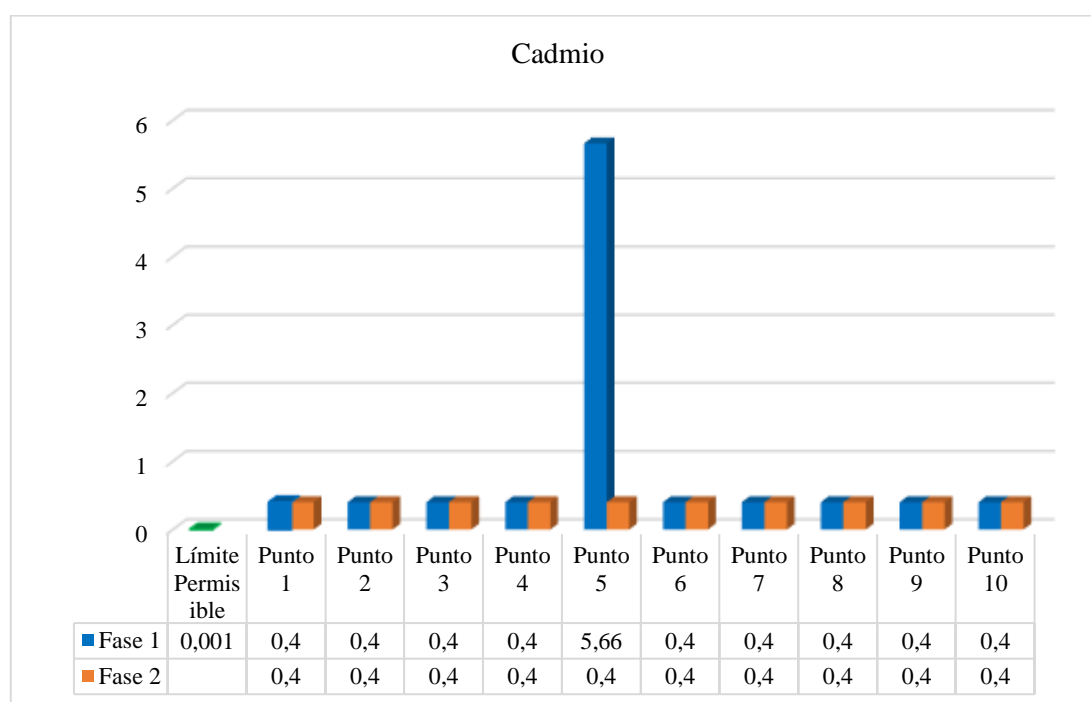
Los valores de concentración de cadmio en ambas fases de muestreo estuvieron por encima del límite máximo permisible 0,001 mg/L como se observa en el Gráfico 7. Fue posible distinguir un comportamiento similar en ambos muestreos oscilando en un valor de 0,4 mg/L de concentración de arsénico con excepción del sector de Tilulum (P5) que fue el valor más alto de ambas fases con 5,66 mg/L de concentración, este sector se caracteriza por estar en la zona media del río que se encuentra influenciada por la descarga de aguas residuales industriales y domésticas de la ciudad. Este patrón de comportamiento de los datos se corroboró con el análisis de varianza Anova de un factor que señaló que no existe diferencias estadísticamente significativas en ambas fases de muestreo, en el cual los valores de la fase1 presentaron una media mayor a la fase 2 (Tabla 20).

**Tabla 20.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de cadmio

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	9,26	0,926	2,767
2	10	4	0,4	3,424E-33

**Fuente:** Elaboración propia.

La contaminación de fuentes de agua como ríos debido a la presencia de metales pesados continúa siendo un problema, de acuerdo con el estudio [85], las principales actividades comerciales e industriales como minería, metalurgia, curtiembres, agricultura que emplea plaguicidas y fertilizantes, generan gran cantidad de metales pesados que quedan remanentes en el suelo y llegan a los cuerpos de agua. Dentro de este análisis y estudio en el año 2016 en el canal de riego Latacunga-salcedo-Ambato, dicha investigación obtuvo valores de cadmio en 0,01 mg/L dentro del límite máximo permisible, generándose la preocupación que en el transcurso de tres años estos valores vayan en aumento.



**Gráfico 7.** Resultados de concentraciones de Cadmio en ambas fases de muestreo

### Níquel

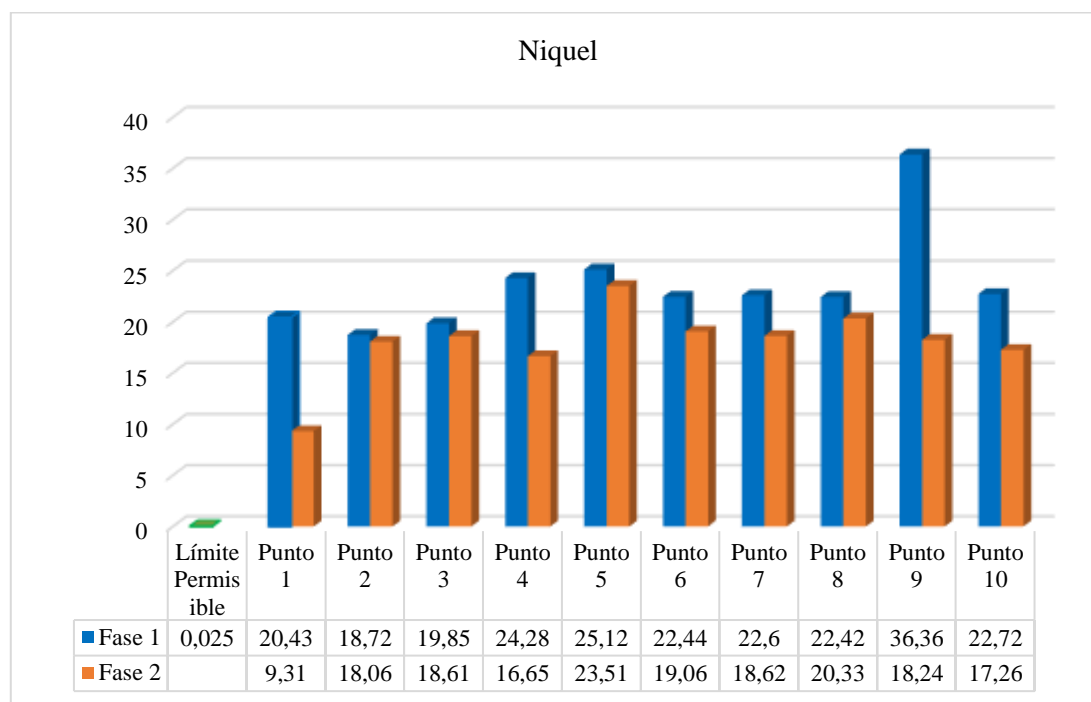
Los valores de concentración de níquel en ambas fases de muestreo estuvieron por encima del límite máximo permisible 0,025 mg/L como se observa en el Gráfico 8. De los puntos muestreados el mayor valor fue el sector de Quillán (P9) con 36,36 mg/L en la fase 1, este sector se caracteriza por estar en la zona baja del río que se encuentra influenciada por la presencia de canteras y las descargas de aguas residuales industriales y domésticas. Los demás puntos presentaron valores oscilantes entre ellos por ello con el análisis de varianza Anova de un factor se conoció que existió diferencias estadísticamente significativas en ambas fases de muestreo, dentro de lo cual los valores de la fase 1 presentaron una media mayor a la fase 2 (Tabla 21).

**Tabla 21.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de níquel

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	234,94	23,494	24,213
2	10	179,65	17,965	12,845

**Fuente:** Elaboración propia.

Un dato muy importante mencionado en la investigación realizada en el canal de riego Latacunga-salcedo-Ambato en el año 2016 con respecto a los metales pesados, es que el uso de aguas de tipo residual sobre suelos y cultivos tiene un impacto directo en los suelos ya que estos retienen y acumulan los metales pesados como níquel, cadmio y plomo y llegan a afectar a especies de plantas como el maíz, el trigo y alfalfa [85].



**Gráfico 8.** Resultados de concentraciones de Níquel en ambas fases de muestreo

### Plomo

Los valores de concentración de plomo en ambas fases de muestreo estuvieron por encima del límite máximo permisible 0,2 mg/L como se observa en el Gráfico 9. De los puntos muestreados el mayor valor fue el sector de Quillán (P9) con 7,4 mg/L en la fase 1, en este punto ha habido concentraciones que superan el límite permisible de metales pesados como níquel y plomo, como ya se mencionó anteriormente este sector se caracteriza por estar en la zona baja del río que se encuentra influenciada por la presencia de canteras y las descargas de aguas residuales industriales y domésticas. En el análisis de varianza

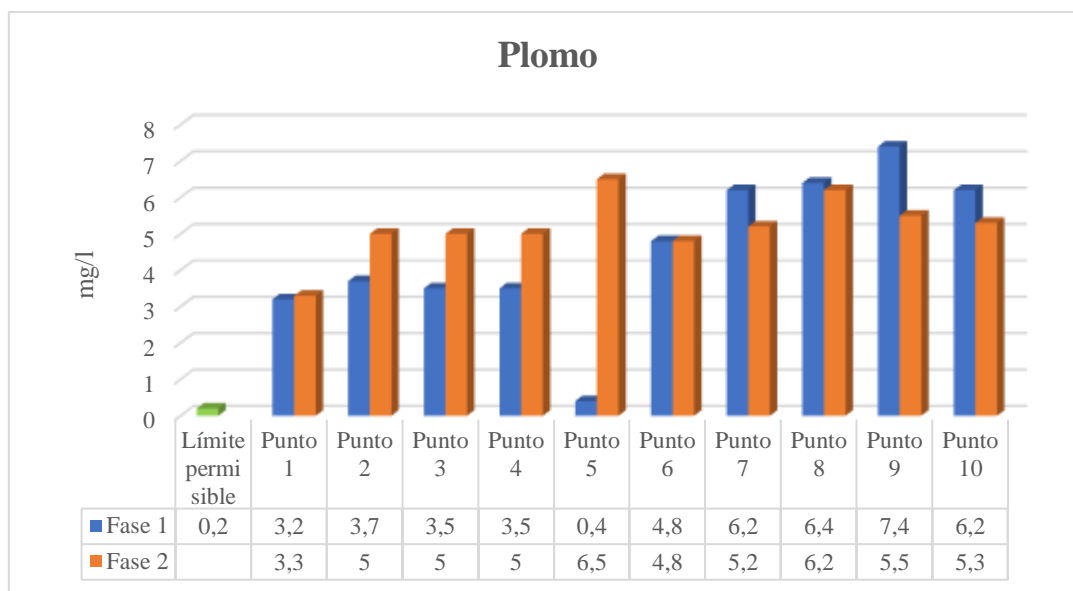
Anova de un factor se estableció que no existe diferencias estadísticamente significativas en ambas fases de muestreo, dentro de lo cual los valores de la fase 2 presentaron una media mayor a la fase 1 (Tabla 22).

**Tabla 22.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de plomo

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	45,3	4,53	4,336
2	10	51,8	5,18	0,742

**Fuente:** Elaboración propia.

Las mediciones de metales pesados en aguas específicamente plomo a nivel nacional se dan debido a la presencia de actividad industrial de las mineras, que depositan sus aguas residuales y afectan a zonas de las provincias de la costa como El Oro, de la sierra principalmente a Loja y en la Amazonía a Zamora Chinchipe [86].



**Gráfico 9.** Resultados de concentraciones de Plomo en ambas fases de muestreo

### Calcio

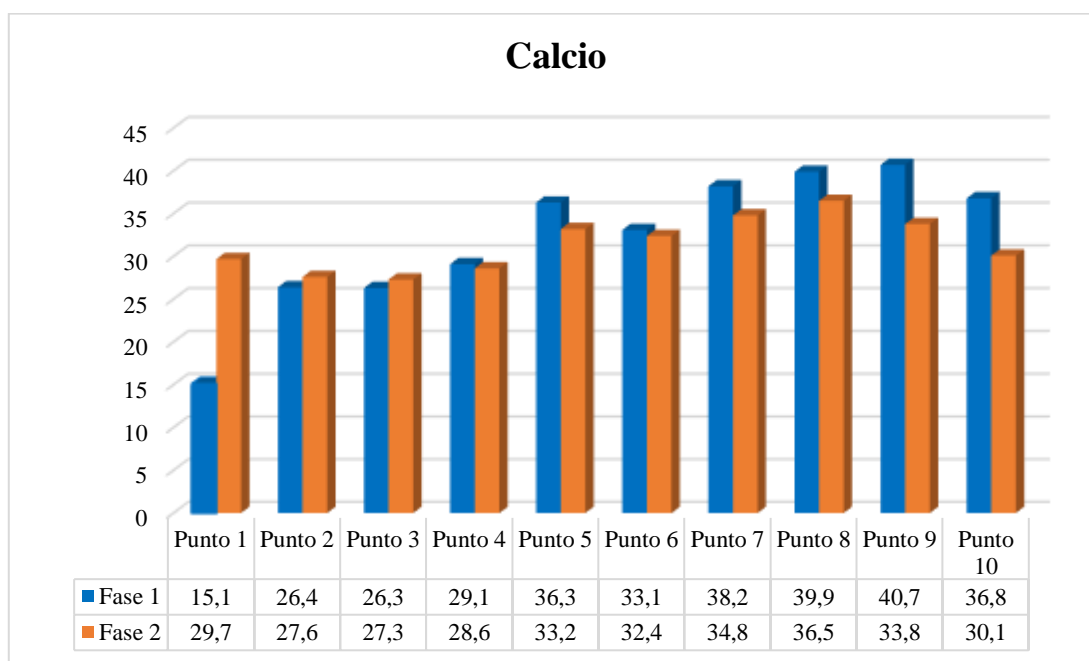
Los valores de concentración de calcio en ambas fases de muestreo presentaron una tendencia en aumento conforme se avanzaba desde la zona alta, media y baja del río, con cierta excepción del sector del canal Huachi Pelileo (P1) que en la fase 2 presentó mayor valor comparado a la fase 1, como se observa en el Gráfico 10. De los demás puntos independientemente de la fase de muestreo, el mayor valor fue el sector de Quillán (P9) con 40,7 mg/L seguido del sector del Paso Lateral (P8) 39,9 mg/L, estos puntos pertenecen a la zona baja del río que se encuentra influenciada por la presencia de canteras

y las descargas de aguas residuales industriales y domésticas. Con respecto al análisis de varianza Anova de un factor se encontró que no existe diferencias estadísticamente significativas en ambas fases de muestreo, dentro de lo cual los valores de la fase 2 presentaron una media mayor a la fase 1 (Tabla 23).

**Tabla 23.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de calcio

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	321,9	32,19	64,088
2	10	314	31,4	10,138

**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfico 10.** Resultados de concentraciones de Calcio en ambas fases de muestreo

### Magnesio

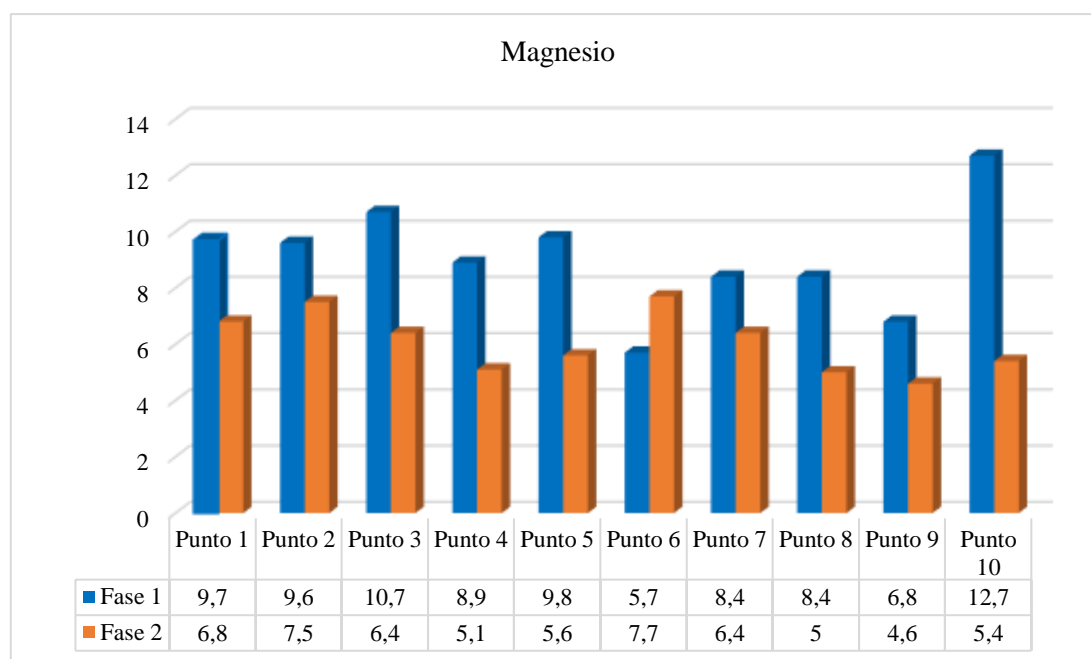
Los valores de concentración de magnesio presentan mayor valor en la fase 1 a comparación con la fase 2 como se observa en el Gráfico 11. De los puntos muestreados el sector analizado que presentó el mayor valor fue el sector de Las Viñas (P10) con 12,7 mg/L en la fase 1, esta zona del río se encuentra influenciada por la presencia de canteras y las descargas de aguas residuales industriales y domésticas. Seguido al anterior punto se encontró al sector de la Descarga Pasa (P3) con 10,7 mg/L. La tendencia marcada de haber valores más altos en la fase 1 se comprobó con el análisis de varianza Anova de un factor dentro de lo cual los valores de la fase 1 presentaron una media mayor a la fase 2

(Tabla 24), además con el análisis del estadístico se estableció que existen diferencias estadísticamente significativas en ambas fases de muestreo.

**Tabla 24.** Resultados preliminares del Análisis de varianza de un factor para concentración de magnesio

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
1	10	90,7	9,07	3,831
2	10	60,5	6,05	1,152

**Fuente:** Elaboración propia.



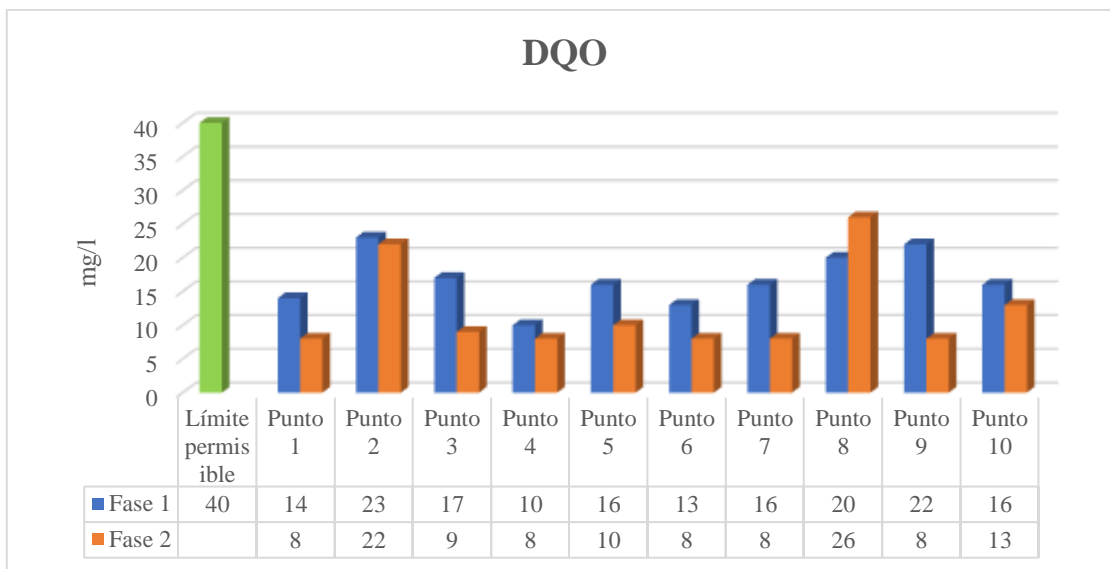
**Gráfico 11.** Resultados de concentraciones de Magnesio en ambas fases de muestreo

### **Demanda Química de Oxígeno**

Los valores medidos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las dos fases de muestreo son muy bajos, encontrándose dentro de los límites permisibles de acuerdo con la norma TULSMA de calidad de agua para preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce, como se observa en el Gráfico 12. De ello se puede señalar a los puntos pertenecientes a los sectores de Paso Lateral (P8) y al sector de la estación de Huaico (P2) como los más altos. El comportamiento de las mediciones a nivel de campañas de muestreo se estimó mediante el Análisis de varianza de un factor, reflejando así que los valores de la fase 1 tuvieron mayor media en comparación a los valores medidos en la

fase 2, a su vez se determinó que existe diferencias estadísticamente significativas entre fases de muestreo.

Tomando en cuenta que la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en agua residual [87] por lo que se estima no existió gran concentración de este tipo de contaminante en el río durante las dos campañas realizadas, al mantenerse muy por debajo del límite permisible, por ende, la cantidad de materia orgánica oxidable fue poca.

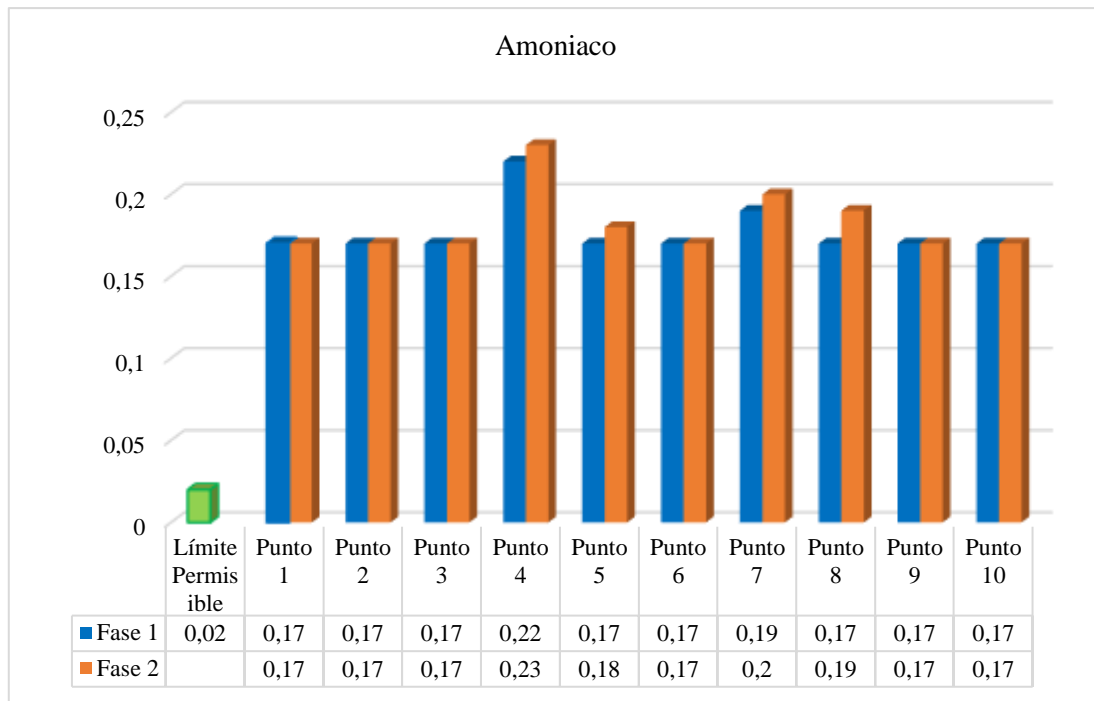


**Gráfico 12.** Resultados de Demanda Química de Oxígeno  $mgO_2/L$  en ambas fases de muestreo

### Amoniaco

Los resultados del amoniaco libre para ambas campañas de muestreo indican poca contaminación por materia orgánica presente en cada uno de los puntos de muestreo a lo largo del río. El ion amonio se encuentra por encima del límite máximo permisible establecido por la norma TULSMA. De acuerdo con el autor [88], estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas en el río Pedro Carbo en la provincia del Guayas, concentraciones bajas de amoniaco 1,74 mg/L, presentes en diversas fuentes de agua indican poca contaminación a través de actividades agrícolas como residuos de fertilizantes, materia orgánica en descomposición y contaminación fecal.

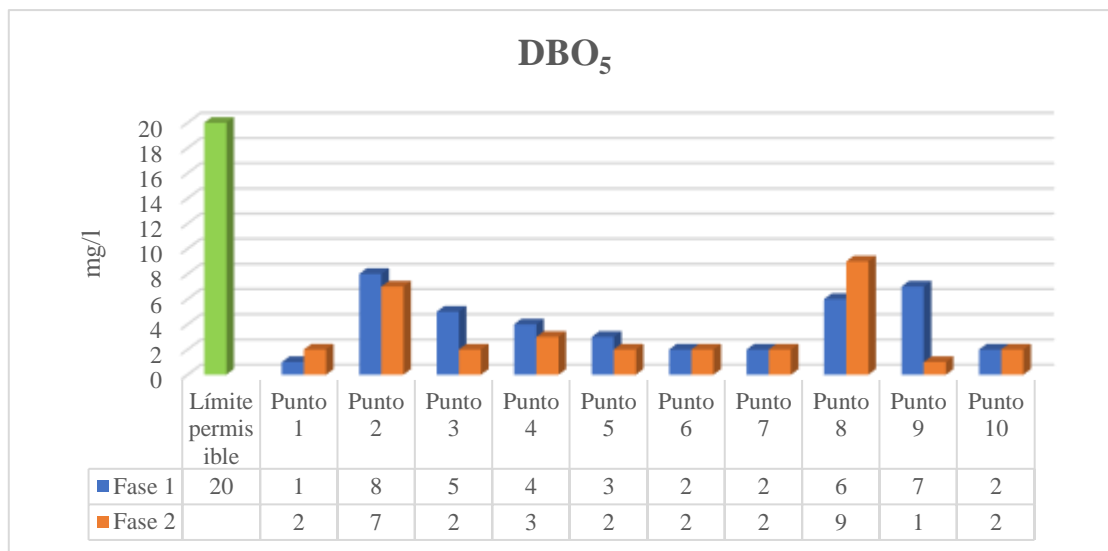




*Gráfico 13. Resultados de Amoniaco mg/L en ambas fases de muestreo*

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

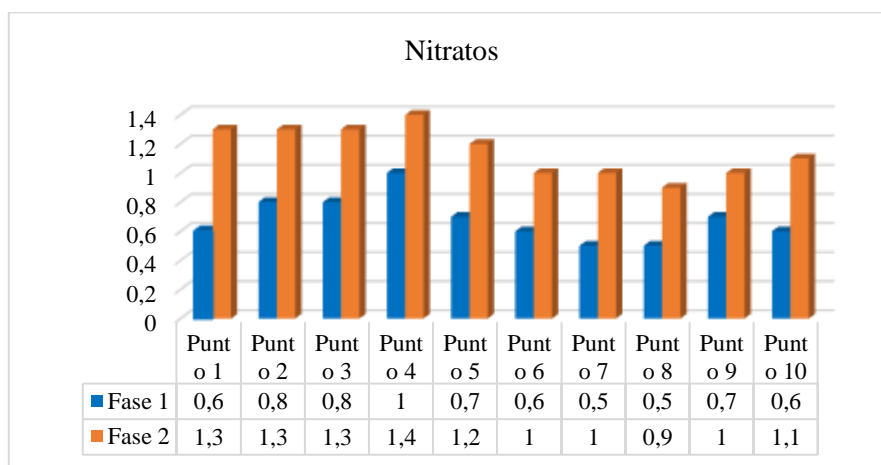
Los valores determinados en la Demanda Bioquímica de Oxígeno se encuentran por debajo de los límites de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce de 20 mg/L en los diez puntos muestreados, se observa que en la Estación Hidrológica Huaico (P2), Socavón (P8) y Paso Lateral (P9) los valores son superiores en comparación con el resto de zonas llegando a un valor máximo de 9 mg/L, en el punto 9, se observa una diferencia significativa en las dos fases de muestreo ya que en el mes de febrero llega a un valor de 7 mg/L, mientras que en la fase 2 se presenta un valor de 1 mg/l una reducción muy significativa de la demanda bioquímica de oxígeno. Una cantidad alta de DBO5 es un indicativo de que los microorganismos presentes en el río ocuparon mayor cantidad de oxígeno disuelto para degradar la materia orgánica presente en los puntos 2, 8 y 9, estos resultados son similares a los expuestos por el autor [89] sobre contaminantes en el río Ambato, donde reporta un valor de 12,25 mg/L de DBO5, y establece que estos valores tienden a subir en la época seca del año.



**Gráfico 14.** Resultados de DBO<sub>5</sub> mgO<sub>2</sub>/L en ambas fases de muestreo

### Nitratos

Los valores de nitrato reflejados en las dos campañas para los diez puntos de muestreo son muy bajos pudiendo considerarse como aptos para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces. Los nitratos provienen de fertilizantes, aguas negras y también de desechos industriales [90], lo que indica que el tiempo empleado para el análisis en ambas campañas de muestreo no influye en la concentración de estas sales en el río, sin embargo, se puede observar un ligero aumento en la concentración de nitratos en la segunda fase de muestreo, lo cual se puede deber a la época de lluvia que arrastra los residuos ganaderos hacia el río.

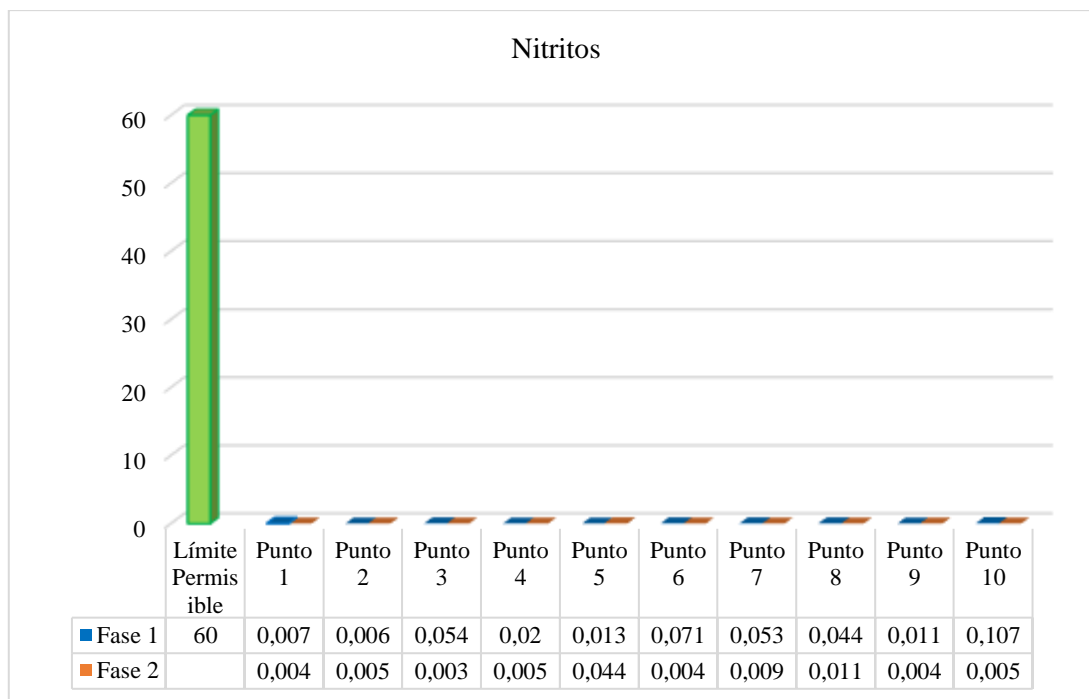


**Gráfico 15.** Resultados de Nitratos mg/L en ambas fases de muestreo

### Nitritos

Los nitritos se encuentran por lo general en menores concentraciones que los nitratos en los efluentes de agua, y a través de los resultados se evidencian valores inferiores al límite

máximo permisible por la norma Turma, el cual es de 60 mg/L, sin embargo se puede encontrar diferencias significativas en ambas campañas de muestreo siendo la fase 1 de Febrero del 2020 la que posee mayor concentración de nitritos, y se puede observar una recuperación de la calidad del río para la segunda campaña de muestreo en Mayo del 2021. De acuerdo con el autor [91], si el medio es aerobio el ion amonio se transforma en nitritos, estos resultados se corroboran al analizar la baja concentración de amoniaco libre presente a lo largo del río Ambato.

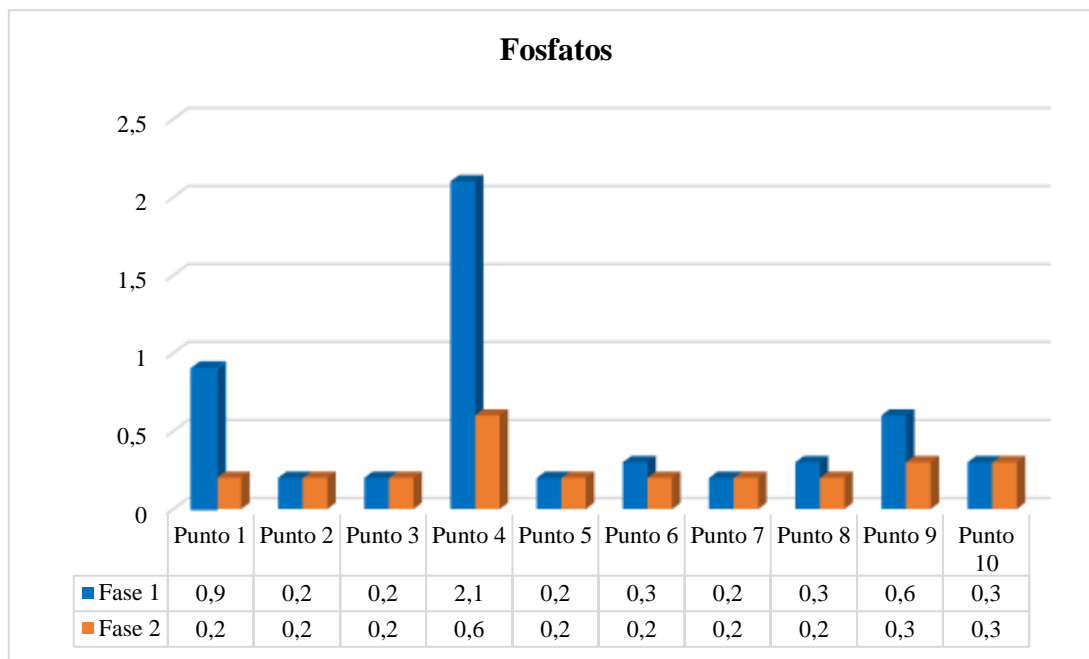


**Gráfico 16.** Resultados de Nitritos mg/L en ambas fases de muestreo

### Fosfatos

La concentración de fosfatos presentó valores altos en los puntos 1, 4 y 9 a lo largo del río Ambato, se conoce que estos puntos tienen fuentes de contaminación ganadera y agrícola, la mayor parte del fósforo presente en el cuerpo de agua se obtiene a través de estas actividades, aguas abajo la concentración de fosfatos es casi nula. Estos resultados se corroboran con la investigación realizada por [92], donde la concentración de fosfatos a lo largo de las cuencas andinas altas de Ecuador establece valores máximos de fosfatos de 0,782 mg/L. Además, se puede observar que existe diferencias significativas en ambas campañas de muestreo, donde la concentración de fosfatos disminuye en el análisis posterior, en el punto 1 se observa una reducción de fosfatos de 0,9 mg/L a 0,2 mg/L, en el punto 4 de 2,1 mg/L a 0,6 mg/L y en el punto 9 de 0,6 mg/L a 0,3mg/L. De acuerdo

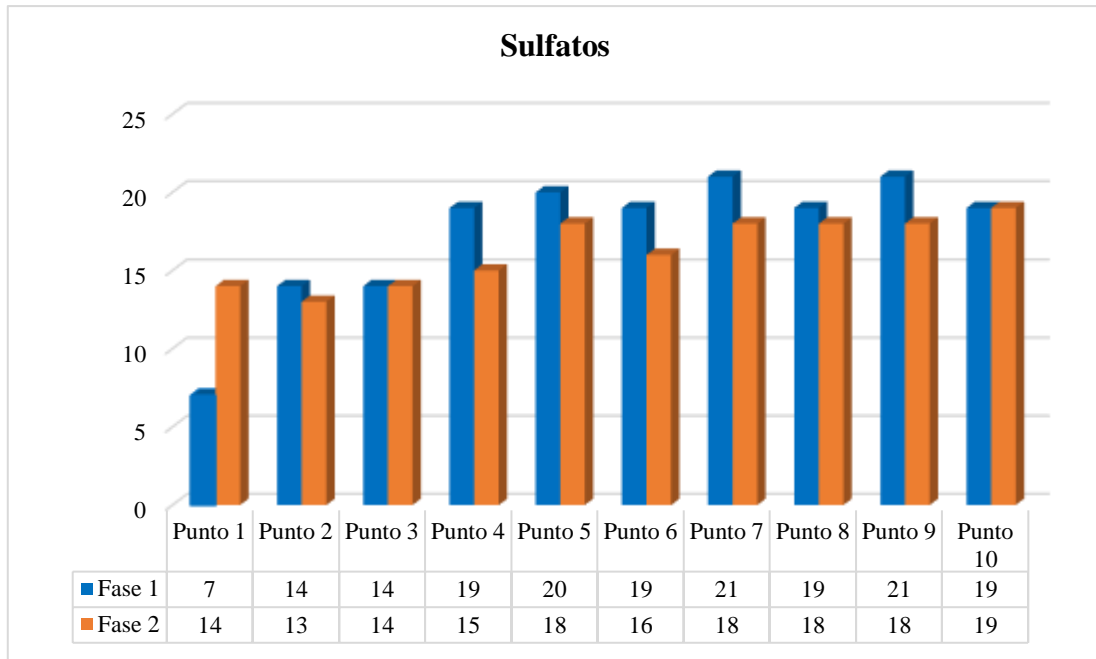
con el autor [93] esta reducción de fosfato está ligada a una disminución en la actividad agrícola debido a la poca área dedicada a cultivos que rodea a los puntos de análisis.



*Gráfico 17. Resultados de Fosfatos mg/L en ambas fases de muestreo*

### **Sulfatos**

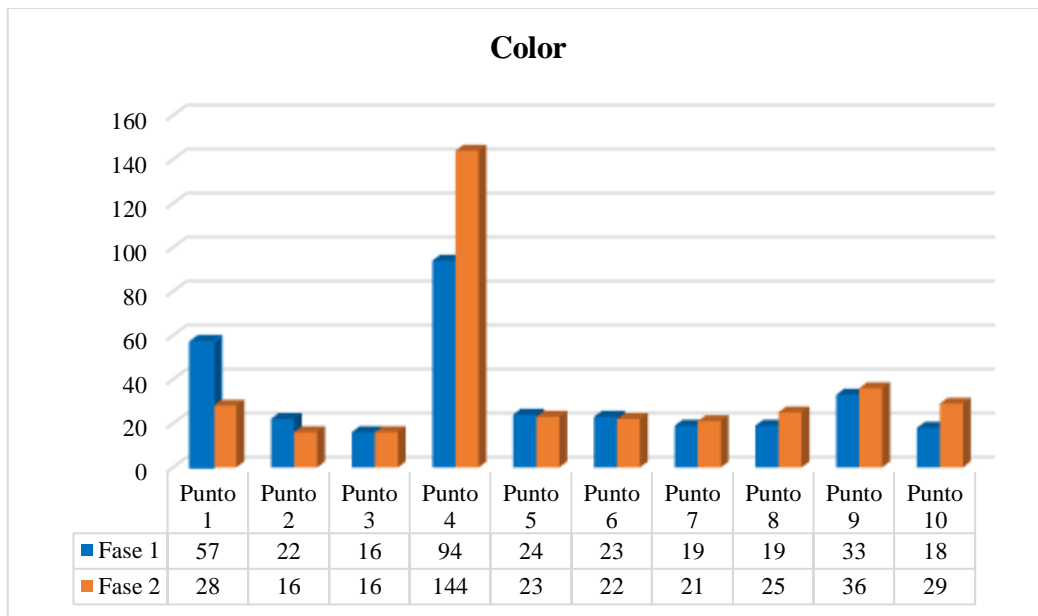
Las sales disueltas de sulfatos en ambas fases presentaron concentraciones bajas y se encuentran dentro de los criterios de calidad admisibles de acuerdo con la norma TULSMA. Se aplicó un ANOVA de un factor en donde se corrobora que no existe diferencias significativas entre ambas fases de muestreo. Según el autor [94], la presencia de estas sales cambia aspectos organolépticos del agua de río, además de que inciden en el aumento de la concentración de sólidos totales y en la dureza del agua de río.



*Gráfico 18. Resultados de Sulfatos mg/L en ambas fases de muestreo*

### Color

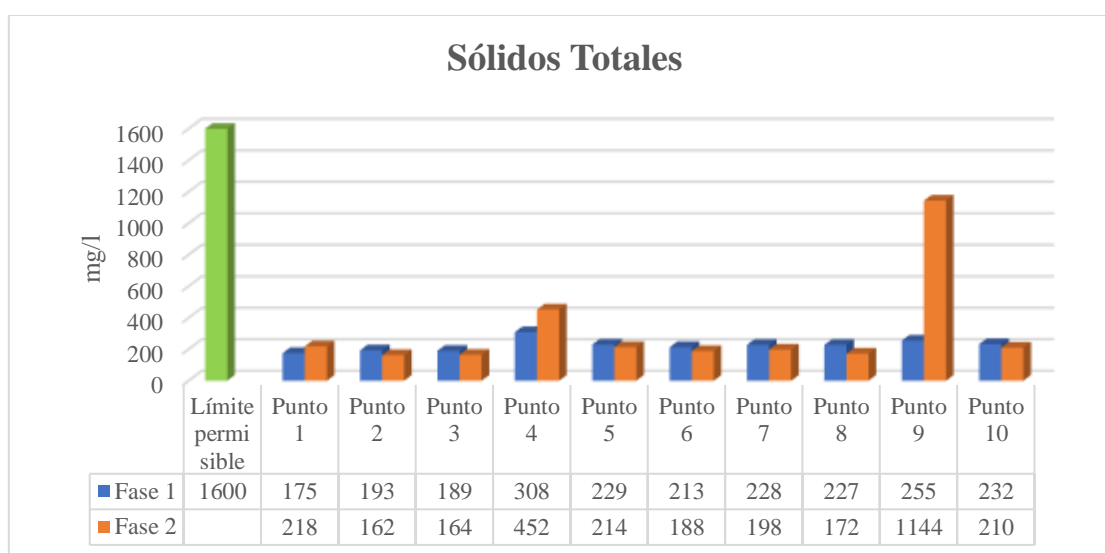
Los resultados del análisis de color presentaron diferencia significativa en el promedio con respecto a la segunda fase de muestreo. Este aumento se debe a la presencia de materia orgánica en suspensión, de acuerdo con un estudio realizado por [95], sobre la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento en los ríos de Ecuador, diferentes fuentes de escorrentía ganadera y agrícola influyen en el aumento del color en el agua de río convirtiéndolas en aguas grises.



*Gráfico 19. Resultados de color en ambas fases de muestreo*

## Sólidos Totales

El análisis de la concentración de sólidos en suspensión es importante para estimar los sólidos totales y el grado de contaminación del agua de río. Estos sólidos se depositan en la superficie del río e impiden la transferencia de oxígeno, proceso que es vital para las especies acuáticas. Además, que estos compuestos interrumpen los procesos de potabilización del agua, se filtran con facilidad en las plantas de tratamiento y forman una capa que les sirve de protección a microorganismos patógenos presentes en el río [96]. Las concentraciones de sólidos suspendidos exceden el límite permisible en el punto 4 sector Aguajan, y en el punto 9 sector Quillán, para la segunda fase de análisis. El incremento en la concentración de sólidos en suspensión para ambos puntos se puede deber al origen de las aguas provenientes para el análisis, aguas residuales domésticas y agua de riego para cultivos agrícolas, que de acuerdo con la época (segunda fase del muestreo), la lluvia arrastra todos estos residuos hacia el río.



**Gráfico 20.** Resultados de Sólidos totales mg/L en ambas fases de muestreo

## Sólidos Suspendidos

Los resultados de las concentraciones de sólidos totales conformados por los sólidos disueltos y en suspensión, indican que se encuentran dentro del límite permisible establecido por la normativa TULSMA, sin embargo, en el punto 9 sector Quillán, se encontró el valor más alto de este parámetro en la segunda fase de análisis, este resultado es similar para el parámetro de sólidos suspendidos. Al tratarse de un punto extremo del río este recoge el agua proveniente del área urbana además de que integra los desechos provocados por actividades domésticas y comerciales. Una concentración alta de sólidos suspendidos impide el paso de la luz en el cuerpo de agua, lo cual aumenta la turbidez del

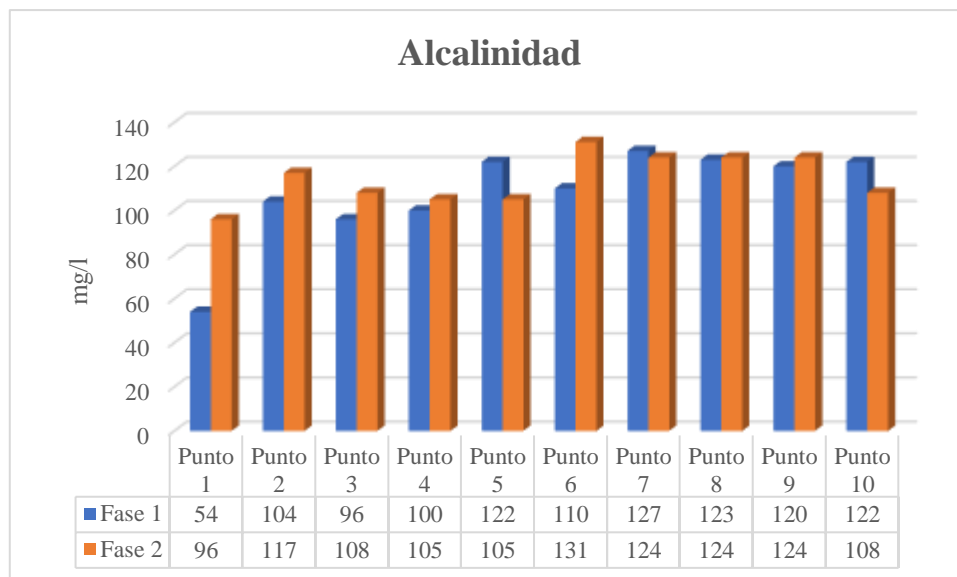
medio, sin embargo, la concentración de sólidos totales se encuentra dentro del límite permisible, y en el punto 4 sector Aguajan, los resultados promedios de turbidez exceden el límite permisible, De acuerdo con [8], esto se debe a que algunos sólidos en suspensión como la materia orgánica presente, no puede desviar la luz que absorben, lo cual genera partículas en suspensión que no pueden ser determinadas a través de la turbidez.



**Gráfico 21.** Resultados de Sólidos suspendidos mg/L en ambas fases de muestreo

### Alcalinidad

Los resultados de alcalinidad cuantificados como mg/L de carbonato de calcio, reflejan todas las sustancias básicas capaces de neutralizar los ácidos presentes en el río. De acuerdo con [97], en su investigación acerca de la corrección en las propiedades químicas del río Carrizal en Manabí, el límite permisible en el agua potable oscila en valores de 35 a 200 mg/L de alcalinidad, valores inferiores a 20 mg/L, resultarían perjudiciales para mantener la vida en el río, por cuanto el agua pierde la capacidad de regular el pH del medio. Como se puede observar las concentraciones varían independientemente del tiempo (fases de muestreo). Las cantidades altas de alcalinidad se pueden correlacionar con las altas concentraciones de fosfatos encontradas en 3 puntos de muestreo. Según lo reportado por [98], el ion fosfato tiende a producir sales insolubles que precipitan en forma de fosfato cálcico. Debido que proviene de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua.

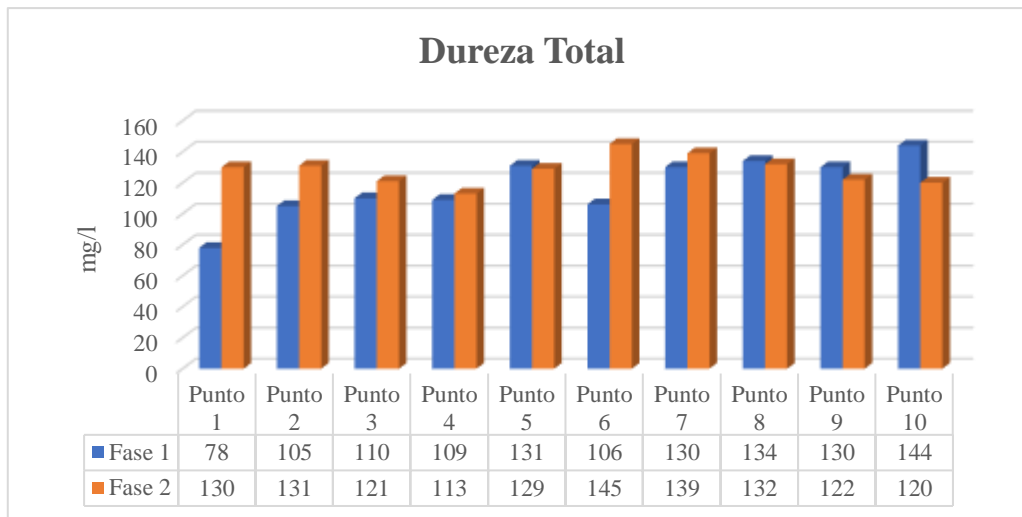


**Gráfico 22.** Resultados de alcalinidad en ambas fases de muestreo

### Dureza

Los resultados de dureza total expresada como mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  indican mayor cantidad de carbonatos de calcio y magnesio durante la segunda fase de muestreo en comparación con la primera fase. De acuerdo con el autor [99], en una investigación en la cuenca alta del río Ambato, que corresponde a los primeros puntos del presente análisis, obtuvo valores de hasta  $238\text{mg/L}$  de  $\text{CaCO}_3$ , y establece que estos compuestos provienen de residuos domésticos e industriales que reaccionan con el agua para formar sales de calcio y magnesio. En otra investigación realizada por [100], sobre la reducción de la dureza del río Blanco en Latacunga, manifiesta que el agua de riego usada para cultivos de la zona también posee una dureza alta de  $218\text{ mg/L}$ , debido a las actividades antrópicas del sector. Los resultados encontrados en la presente investigación se correlacionan con el alto contenido de alcalinidad presente a lo largo de los diferentes puntos de análisis.

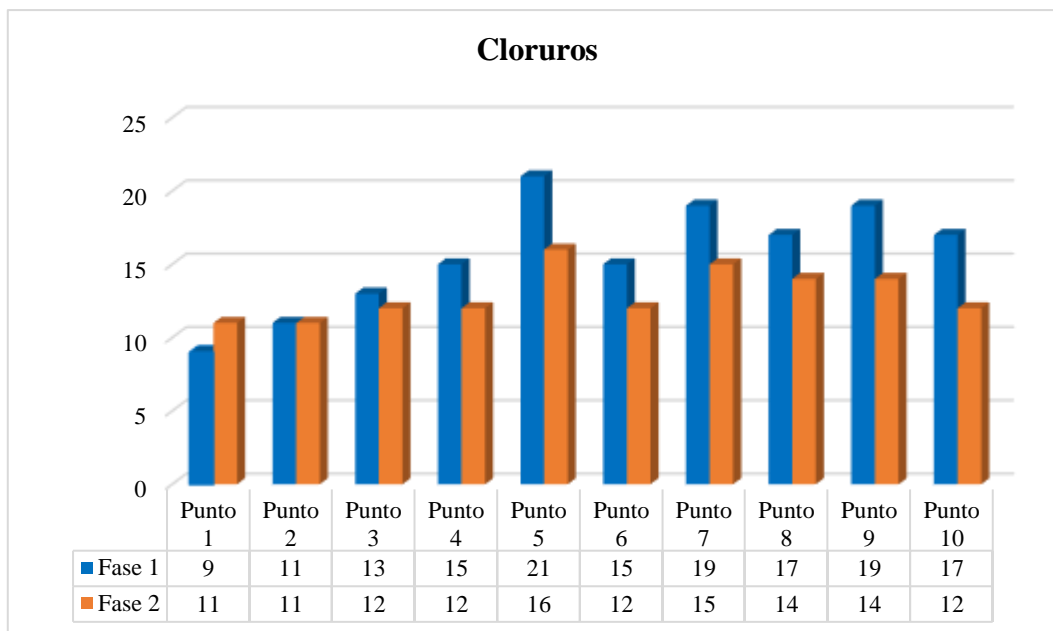




**Gráfico 23.** Resultados de dureza en ambas fases de muestreo

### Cloruros

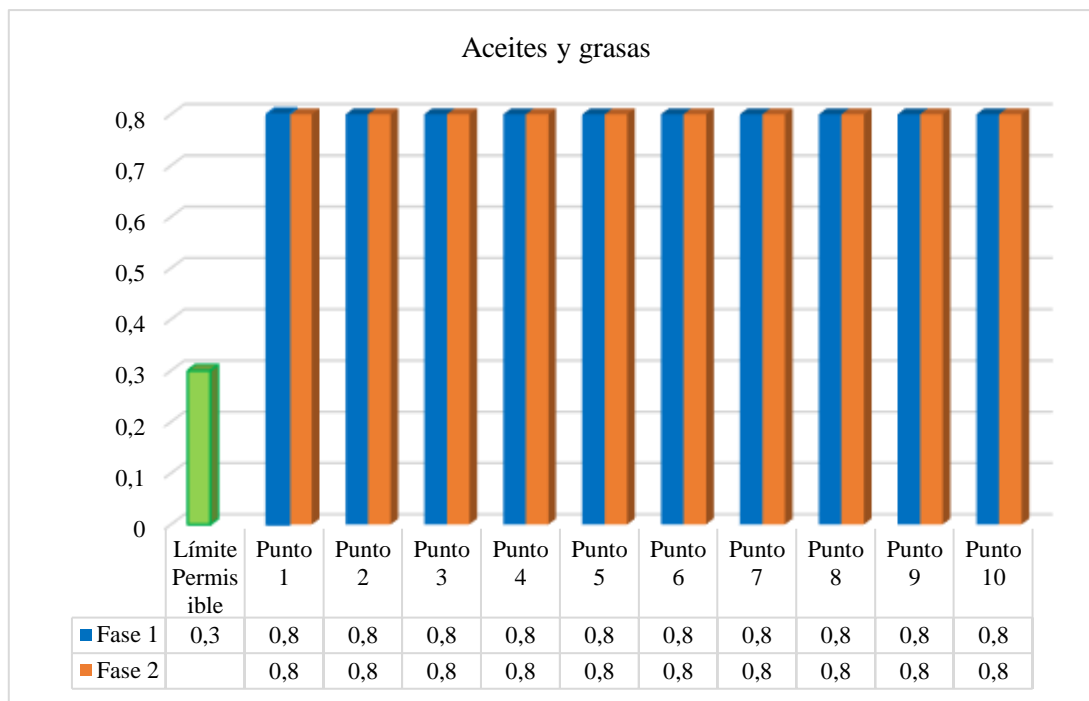
Las sales disueltas en iones de cloruro le dan un sabor desagradable al agua, además la concentración de cloruros en el agua se ve afectada por la lluvia que cae sobre la superficie del río que tiende a aumentar la salinidad del medio. El ion cloruro es importante como trazador hidrogeológico para discriminar aportes de Cl diferentes al atmosférico. Esto permite calcular con menor error la recarga en ríos mediante balance de Cl y cuando orientar sobre el carácter local o regional del sistema de flujo de agua subterránea [101]. Los resultados de cloruros en los diez puntos de muestreo para ambas fases presentaron concentraciones bajas y se encuentran dentro de los criterios de calidad admisibles. Se aplicó un ANOVA de un factor en donde se corrobora que no existe diferencias significativas entre ambas fases de muestreo.



*Gráfico 24. Resultados de cloruros mg/L en ambas fases de muestreo*

### **Aceites y Grasas**

Concentraciones altas de aceites y grasas presentes en cuerpos de agua afectan al desarrollo y al equilibrio del ecosistema acuático, estos compuestos al ser sustancias inmiscibles e hidrófobas generan una capa superficial en el agua que impide la transferencia de oxígeno. De acuerdo con el autor [102], la presencia de estos contaminantes en los ríos se debe en gran medida a desechos domésticos e industriales como jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites. Los resultados de la cuantificación de aceites y grasas indican que están por encima del límite permisible en los diez puntos de muestreo para ambas fases, pese a que las concentraciones son muy bajas, no sobrepasan la unidad. Además, se aplicó un ANOVA de un factor en donde se corrobora que no existe diferencias significativas entre ambas fases de muestreo.



*Gráfico 25. Resultados de aceites y grasas mg/L en ambas fases de muestreo*

#### 4.2.3. Determinación del Índice de Calidad del Agua NSF

Los valores de calidad del agua calculados a partir de sus características fisicoquímicas en ambas fases de muestreo presentaron en su mayoría valores de calidad media con excepción del sector Aguajan que tuvo una calidad mala en la fase 1 de muestreo. De los 10 puntos a lo largo del río Ambato el valor ICA más bajo fue el sector de Aguajan (P4) en ambas fases de muestreo, seguido del sector de Quillán (P9) y sector del Paso Lateral (P8) como se observa en la Tabla 25.

El valor del índice de calidad permite ponderar la calidad de un cuerpo de agua en torno a sus características que pueden variar con el tiempo, la correlación del índice permitió señalar que el incumplimiento de los límites permisibles de varios de los parámetros como oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, concentración de metales pesados como cadmio, níquel, plomo, magnesio y en ciertos puntos los valores de color, fueron representativos para que el cálculo del ICA estimara un grado de calidad media (51-70) a lo largo del río Ambato.

**Tabla 25.** Valores del Índice de Calidad de Agua del río Ambato

	29 de febrero de 2020			29 de mayo de 2021		
	VALOR	CALIDAD	COLOR	VALOR	CALIDAD	COLOR
HUACHI - PELILEO	58,642	MEDIA		71,170	MEDIA	
ESTACION HUAICO	60,019	MEDIA		62,977	MEDIA	
DESCARGA PASA	64,779	MEDIA		69,776	MEDIA	
SECTOR AGUAJAN	47,938	MALA		55,400	MEDIA	
SECTOR TILULUM	67,986	MEDIA		66,335	MEDIA	
PARQUE EL SUEÑO	71,002	MEDIA		68,757	MEDIA	
SOCABON	66,420	MEDIA		68,544	MEDIA	
PASO LATERAL	64,683	MEDIA		63,253	MEDIA	
QUILLÁN	55,805	MEDIA		67,956	MEDIA	
LAS VIÑAS	68,583	MEDIA		66,100	MEDIA	

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3. Verificación de Hipótesis

En la investigación se realizaron 24 parámetros fisicoquímicos a lo largo de la zona alta, media y baja del río Ambato con el fin de conocer la influencia de la actividad antropogénica realizando un Análisis de varianza (Anova de un factor) en el programa estadístico Statgraphics aplicando pruebas de comparación de medias. Con lo cual se obtuvo que para los parámetros de oxígeno disuelto (Tabla 26), turbidez (Tabla 27), Demanda Biológica de Oxígeno (Tabla 28), sólidos totales (Tabla 29), sólidos suspendidos (Tabla 30), conductividad (Tabla 31), fosfatos (Tabla 32), amoníaco (Tabla 33), sulfatos (Tabla 34), alcalinidad (Tabla 35), color (Tabla 36), dureza (Tabla 37), cloruros (Tabla 38), aceites y grasas (Tabla 39), cadmio (Tabla 40), calcio (Tabla 41), plomo (Tabla 42) y hierro (Tabla 43), se acepta la hipótesis nula que establece que “Los resultados del nivel de contaminación del río Ambato por la influencia de fuentes antropogénicas, mediante el análisis de la concentración de sus parámetros fisicoquímicos no presentan diferencias significativas en las dos campañas de muestreo”. Mientras que para los parámetros como potencial de Hidrógeno (Tabla 44), sólidos disueltos (Tabla 45), DQO (Tabla 46), nitratos (Tabla 47), nitritos (Tabla 48), arsénico (Tabla 49), níquel (Tabla 50) y magnesio (Tabla 51), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa “Los resultados del nivel de contaminación del río Ambato por la

influencia de fuentes antropogénicas, mediante el análisis de la concentración de sus parámetros fisicoquímicos presentan diferencias significativas en las dos campañas de muestreo”. Finalmente, las mediciones también fueron comparadas con los límites máximos permisibles de la legislación ambiental vigente, siendo la mayoría de estos parámetros un factor influyente en la carga contaminante determinada.

**Tabla 26.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro oxígeno disuelto

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	0,258	1	0,258	0,069	4,414
Dentro de los grupos	66,657	18	3,703		
Total	66,915	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 27.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro turbidez

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	369,198	1	369,198	0,163	4,414
Dentro de los grupos	40646,676	18	2258,149		
Total	41015,875	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 28.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro DBO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad F	Valor crítico para F
Entre grupos	3,889	1	3,889	0,652	4,414
Dentro de los grupos	107,406	18	5,967		
Total	111,296	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 29.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetros sólidos totales

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	38106,45	1	38106,45	11	0,379	4,414
Dentro de los grupos	845874,5	18	46993,028			
Total	883980,95	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 30.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetros sólidos suspendidos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	58536,2	1	58536,2	97	0,269	4,414
Dentro de los grupos	812597,6	18	45144,311			
Total	871133,8	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 31.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro conductividad

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2668,05	1	2668,05	19	0,266	4,414
Dentro de los grupos	36384,9	18	2021,383			
Total	39052,95	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 32.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro fosfatos

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	0,364	1	0,364	1,9 61	0,178	4,414
Dentro de los grupos	3,345	18	0,186			
Total	3,709	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 33.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro amoníaco

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	0,0001	1	0,0001	0,3 77	0,547	4,414
Dentro de los grupos	0,006	18	0,0003			
Total	0,006	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 34.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro sulfatos

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	5	1	5	0,4 16	0,527	4,414
Dentro de los grupos	216,2	18	12,011			
Total	221,2	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 35.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro alcalinidad

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	204,8	1	204,8	0,679	4,414
Dentro de los grupos	5421,2	18	301,178		
Total	5626	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 36.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro color

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	31,25	1	31,25	0,029	4,414
Dentro de los grupos	19040,5	18	1057,805		
Total	19071,75	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 37.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro dureza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	551,25	1	551,25	2,329	4,414
Dentro de los grupos	4259,7	18	236,65		
Total	4810,95	19			

**Fuente:** Elaboración propia.



**Tabla 38.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro cloruros

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	36,45	1	36,45	4,2 25 0,055	4,414
Dentro de los grupos	155,3	18	8,628		
Total	191,75	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 39.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro aceites y grasas

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,004	1	0,004	0,2 69 0,610	4,414
Dentro de los grupos	0,301	18	0,017		
Total	0,305	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 40.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro cadmio

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,383	1	1,383	1 0,330	4,414
Dentro de los grupos	24,901	18	1,383		
Total	26,284	19			

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 41.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro calcio

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
				0,0		
Entre grupos	3,120	1	3,120	84	0,775	4,414
Dentro de los grupos	668,029	18	37,113			
Total	671,149	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 42.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro plomo

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
				0,8		
Entre grupos	2,112	1	2,112	32	0,374	4,414
Dentro de los grupos	45,697	18	2,539			
Total	47,809	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 43.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro hierro

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
				0,4		
Entre grupos	1,305	1	1,306	58	0,507	4,414
Dentro de los grupos	51,263	18	2,848			
Total	52,569	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 44.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro potencial de hidrógeno

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,886	1	0,886	8,8	0,008	4,414
Dentro de los grupos	1,800	18	0,100	60		
Total	2,686	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 45.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetros sólidos disueltos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2184,05	1	2184,05	5,3	0,033	4,414
Dentro de los grupos	7350,5	18	408,361	48		
Total	9534,55	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 46.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro DQO

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	151,25	1	151,25	4,4	0,049	4,413
Dentro de los grupos	611,7	18	33,983	51		
Total	762,95	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 47.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro nitratos

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
				41,3		
Entre grupos	1,104	1	1,104	33	4,737	4,414
Dentro de los grupos	0,481	18	0,027			
Total	1,585	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 48.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro nitritos

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
				6,7		
Entre grupos	0,004	1	0,004	24	0,018	4,414
Dentro de los grupos	0,011	18	0,0001			
Total	0,016	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 49.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro arsénico

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
				9,6		
Entre grupos	0,00002	1	0,00002	08	0,006	4,414
Dentro de los grupos	0,00004	18	2,519			
Total	0,00007	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 50.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro níquel

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	152,849	1	152,849	8,2	0,010	4,414
Dentro de los grupos	333,520	18	18,529	49		
Total	486,370	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 51.** Análisis de varianza (Anova simple de un factor) parámetro magnesio

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	45,602	1	45,602	18,3	0,001	4,414
Dentro de los grupos	44,846	18	2,491	03		
Total	90,448	19				

**Fuente:** Elaboración propia.

Dentro del análisis estadístico cuando se da la presencia de diferencias estadísticamente significativas se hacen pruebas consecutivas para determinar la relación entre los factores de análisis como el método de Duncan que determina la diferencia entre pares de medias después que se haya rechazado la Hipótesis nula en el análisis de varianza y el método de Tukey que crea intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias.

## **5. CAPÍTULO IV**

### **5.1. Conclusiones**

Se determinó que el grado de afectación ocasionado por las actividades antrópicas a lo largo del río Ambato tiene influencia negativa en la composición fisicoquímica del cuerpo de agua, evidenciado en las mediciones de las cuales al menos 9 parámetros se encuentran por encima del límite máximo permisible establecido por la norma TULSMA con respecto al Criterio de Calidad aplicado a preservar la fauna y flora en aguas frías dulces, especialmente en los puntos 4 y 9, que pertenecen a los sectores de Aguajan (zona media) y sector Quillán (zona baja) en ambas campañas de muestreo, estos sectores se encuentran aledaños a la presencia de canteras, descargas de aguas residuales tanto domésticas como industriales y la planta de tratamiento de aguas presente entre el punto 8 y el punto 10.

Se estableció un programa de monitoreo de la calidad del agua en el río Ambato desde el sector de Marcopamba hasta el sector de las Viñas mediante el muestreo de 10 puntos en dos fases, la primera en el mes de febrero 2020 y la segunda en el mes de mayo 2021, tomando como referencia procedimientos enlistados en las normas NTE INEN 2169:2013 Agua. calidad del agua. muestreo. manejo y conservación de muestras, NTE INEN 2176:2013 Técnicas de conservación y transporte de muestras de agua y NTE INEN 2226:2013 Agua, Calidad del Agua. Muestreo. La selección de los parámetros fisicoquímicos se dio en base a la revisión de varios análisis preliminares sobre la carga contaminante del río Ambato para la vigilancia del impacto que ocasiona las fuentes antrópicas sobre el cuerpo de agua.

Se determinó el nivel de contaminación en el río Ambato por efecto de la actividad antrópica en dos períodos de muestreo a través del Índice de Calidad General NSF obteniendo un grado de calidad media para la mayoría de los 10 puntos, siendo los valores más bajos en la fase 1 el punto 4 sector de Aguajan fue el más bajo, en este se evidencia la acumulación la carga contaminante especialmente del punto de la descarga Pasa que lleva aguas residuales domésticas, seguido por el punto 9 que pertenece al sector Quillán, se estima que el grado de contaminación se debe a la presencia de residuos de fertilizantes empleados por los agricultores de la zona y a la esorrentía de desechos industriales y domésticos.

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del agua a lo largo del río Ambato encontrándose concentraciones por encima del límite permisible en oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, color, sólidos suspendidos y metales pesados como cadmio, níquel, plomo y magnesio, los cuales reflejan un estado de calidad baja en el agua del río debido a la interrelación de los contaminantes encontrados. Tal es el caso de las sales de fosfato que aumentan la concentración de sólidos suspendidos y estos generan turbidez que afecta el color del agua, a su vez la alta carga de materia orgánica disminuye la concentración de oxígeno disuelto, por otra parte, el contenido alto de metales pesados constituye un riesgo para la salud humana debido a que estas trazas de contaminantes llegan a ser bioacumuladas en los cultivos de zonas aledañas al río.

## **5.2. Recomendaciones**

Con base a lo estudiado se considera oportuno realizar un control semestral y anual de las características fisicoquímicas del agua en el río Ambato, además establecer un programa de monitoreo ambiental en la etapa lluviosa en los meses de abril-mayo y época seca julio-agosto. Como también solicitar información acerca de los parámetros fisicoquímicos que realizan la empresa pública de las Plantas de Tratamiento de agua para comprobar y corroborar los resultados encontrados., finalmente a fin de expandir la investigación se debería realizar análisis microbiológicos que permitan tomar precauciones en el uso y manipulación del agua del río.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Quilumbaqui, «Determinación de la concentración de elementos mayores en dieciocho ríos de la provincia de Pichincha, Ecuador,» Quito, 2017.
- [2] A. Yépez, Á. B. Yépez, J. P. Urdánigo y D. C. Morales, «Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador,» *Ciencia y Tecnología*, vol. 10, n° 1, p. 27, 2017.
- [3] N. S. Pazmiño, «Caracterización físico química, biológica e hidromorfológica del río Itambi como afluente el lago San Pablo (Imbabura-Ecuador),» Quito, 2016.
- [4] P. Benítez Díaz y L. Miranda Contreras, «Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica,» *Revista Internacional de contaminación ambiental*, vol. 29, pp. 7-23, 2013.
- [5] UNEP, «Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. United Nations Environment Programme,» 2016. [En línea]. Available: [https://environmentlive.unep.org/media/docs/assessments/policy\\_brief\\_ww\\_qa\\_web.pdf](https://environmentlive.unep.org/media/docs/assessments/policy_brief_unep_ww_qa_web.pdf).
- [6] S. Ríos Tobón, R. M. Agudelo Cadavid y L. A. Gutiérrez Builes, «Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano,» *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, vol. 35, n° 2, pp. 236-247, 2017.
- [7] R. Galárraga, C. Guamán, E. Abraham y M. Salomón, «Indicadores biofísicos, socio-económicos e institucionales y desarrollo de políticas de manejo sustentable del agua en una zona seca de los Andes Centrales del Ecuador. Caso de estudio de la cuenca del río Ambato,» de *Evaluación de los Usos del Agua en Tierras Secas de Iberoamérica*, Mendoza, Cytel, 2006, pp. 137-152.
- [8] S. N. Guachamin Zambrano, «Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato,» Ambato, 2021.
- [9] INEN, *NTE INEN 2176: Agua Calidad del Agua, Muestreo, Técnicas del Muestreo. Primera Edición*, Ecuador: ICS: 13.060.45, 2013.
- [10] INEN, *NTE INEN 2226: Agua Calidad del Agua, Muestreo, Diseño de los programas de muestreo. Primera edición*, ICS:13.060.01, 2013.
- [11] M. d. A. [MAE], *Acuerdo Ministerial Registro Oficial Edición Especial N°387 Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*, 2015.
- [12] V. González, O. Caicedo y N. «. Aguirre, «Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP»,» *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 16, n° 1, pp. 97-108, 2013.
- [13] A. Martínez, «El agua en la atmósfera,» vol. 58, n° 3, 2007.
- [14] F. Shaxson y R. Barber, «Capítulo 2. Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua,» *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo*, 2005.



- [15] Academia Nacional de Ciencias, «¿Dónde se encuentra el agua en la Tierra?,» *Fuentes de abastecimiento*, 2007.
- [16] P. Arora, «Physical, Chemical and Biological Characteristics of Water (e Content Module).»,» *Environmental Sciences*, 2017.
- [17] D. ZLlatunova, Módulo. Chapter 2. Water Quality Characteristics, Sofia University, 2005.
- [18] A. Husain, G. Bushara, S. Damak y M. Ali, UNESCO - EOLSS Sample Chapters Physical, Chemical and Biological Aspects of Water - General Characteristics of Water. Encyclopedia of Desalination and Water Resources (DESWARE), UNESCO , 2010.
- [19] M. Khan y J. Wen, «Evaluation of physicochemical and heavy metals characteristics in surface water under anthropogenic activities using multivariate statistical methods, Garra River, Ganges Basin, India,» *Environmental Engineering Research*, vol. 26, nº 6, pp. 1-12, 2021.
- [20] A. De, Environmental Chemistry, Sexta edición ed., New Delhi.: New Age International (P) Ltd., Publishers, 2006.
- [21] A. Resende, Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato, Brasília: EMBRAPA Cerrados. Documentos 57, 2002, p. 29.
- [22] L. Brito, V. Srinivasan, A. Silva, H. Gheyi, C. Galvão y L. Hermes, «Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre,» *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 9, nº 4, pp. 596-602, 2005.
- [23] A. Esposito, M. Engel, S. Ciccazzo, L. Daprà, D. Penna, F. Comiti, S. Zerbe y L. Brusetti, «Spatial and temporal variability of bacterial communities in high alpine water spring sediments,» vol. 167, nº 4, p. 325–333, 2016.
- [24] J. Stark, P. Hanson, R. Goldstein, J. Fallon, A. Fong, S. Kroening y W. Andrews, Water quality in the Upper Mississippi River Basin, Minnesota, Wisconsin, Dakota del Sur: Geological Survey, Circular. 1211, 2000, p. 1995–1998.
- [25] N. Khatri y S. Tyagi, «Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas,» *Frontiers in Life Science*, vol. 8, nº 1, p. 23–39, 2015.
- [26] A. Lenart, A. Wolanin, E. Jelonkiewicz y M. Żelazny, «The effect of anthropogenic pressure shown by microbiological and chemical water quality indicators on the main rivers of Podhale, southern Poland,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, nº 14, p. 12938–12948, 2017.
- [27] J. Pawełek, «Water management in Poland in view of water supply and sewage disposal infrastructure development,» *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, vol. 2, nº 2, p. 367–376, 2015.
- [28] S. Manahan, «Environmental chemistry of water,» de *Fundamentals of environmental chemistry*, Boca Raton, Florida, CRC Press, 1993, pp. 373-413.
- [29] G. Finnveden, M. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinée, R. Heijungs y S. Hellweg, «Recent develop-ments in life cycle assessment,» *Journal of Environmental Management*, vol. 91, nº 1, pp. 1-21, 2009.

- [30] J. Huang, Y. Huang y Z. Zhang, «Coupled effects of natural and anthropogenic controls on seasonal and spatial variations of river water quality during baseflow in a coastal watershed of southeast China,» *PLoS One*, vol. 9, nº 3, 2014.
- [31] A. Quesada, «Los estudios de riesgos naturales y antrópicos a través de cuatro décadas en la revista geográfica de América Central (1974 – 2015),» *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, nº 58, pp. 17-45, 2017.
- [32] P. Onuoha, Alum y I. Nwachukwu, «Impacts of Anthropogenic Activities on Water Quality of the Onuimo Section of Imo River, Imo State, Nigeria,» *International Journal of Agriculture and Earth Science*, vol. 4, nº 4, pp. 44-52, 2018.
- [33] W. Nyanduko, P. Okinda y F. Orori, «Effect of anthropogenic activities on the water quality of Amala and Nyangores tributaries of River Mara in Kenya,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 187, nº 11, pp. 1-12, 2015.
- [34] O. Alum, E. Awom y C. Ofor, «Indications of EIA Failures of Majo Development Projects near Lokoja, Nigeria and Some of its Negative Impacts on the Lokoja Section of the River Niger,» *IIARD International Journal of Environmental Research*, vol. 2, p. 29–36, 2016.
- [35] Corporación Andina de Fomento, «La contaminación del agua un problema mundial y local,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2006/02/la-contaminacion-del-agua-un-problema-mundial-y-local/>.
- [36] A. Ambulkar y J. A. Nathanson, «Wastewater Treatment for Pollution Control,» *Encyclopaedia Britannica.*, vol. 1, nº 1, 2021.
- [37] G. L. Cárdenas y I. A. Sánchez, «Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública,» *Universidad y Salud*, vol. 15, nº 1, pp. 72-88, 2013.
- [38] H. Campoblanco y J. Gomero, «Importancia de los ríos en el entorno ambiental,» *Revista del Instituto de Investigación*, vol. 3, nº 5, 2000.
- [39] F. L. Tejerina, M. Maldonado, C. Ibañez, D. Pont, N. Roset y T. Oberdorff, «Effects of natural and anthropogenic environmental changes on riverine fish assemblages: a framework for ecological assessment of rivers,» *Brazilian Archives Of biology and Technology. An International Journal*, vol. 48, nº 1, pp. 91-108, 2005.
- [40] E. Lawson, «Physico-chemical parameters and heavy metal contents of water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria,» *Biological Resources*, vol. 5, nº 1, pp. 8-21, 2011.
- [41] E. Nnamani, F. Akpagu y G. Eze-Chukwuebuka, «The analysis of selected physicochemical parameters of water (A case study of ISU and Calabar rivers in Ebonyi State, Nigeria),» *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, vol. 8, nº 1, p. 21–25, 2015.
- [42] O. Edori, «Physical and Chemical Characteristics of Water from Ede Onyima Creek, Okarki-Engenni, Rivers State, Nigeria,» *Chemistry Research Journal*, vol. 5, nº 3, p. 144–154, 2020.

- [43] O. Wokoma y O. Edori, «Heavy metals content of an oily wastewater effluent from an oil firm at the point of discharge,» *International Journal of Chemistry, Pharmacy and Technology*, vol. 2, n° 4, p. 154–161, 2017.
- [44] O. Edori y P. Nna, «Determination of physicochemical parameters of effluents at discharge points into the New Calabar river along Rumuolumeni axis, Niger Delta, Nigeria,» *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, vol. 8, n° 3, 2018.
- [45] P. Ávila, J. Pablos y C. Pelayo, Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos, México: Comisión Nacional de Derechos Humanos, 2018.
- [46] W. Dixon y B. Chiswell, «Review of aquatic monitoring program design,» *Water Research*, vol. 30, n° 9, pp. 1935-1948, 1996.
- [47] A. Bojarczuk, Ł. Jelonkiewicz y A. Lenart, «The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, n° 10, p. 10102–10114., 2018.
- [48] P. Kristensen y J. Bøgestrand, Surface water quality monitoring, European Topic Centre on Inland Waters. National Environmental Research Institute, Denmark , 1996.
- [49] N. Gupta, P. Pandey y J. Hussain, «Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India,» *Water Science*, vol. 31, n° 1, pp. 11-23, 2017.
- [50] A. Otieno, E. Kitur y G. Gathuru, «Physico-Chemical Properties of River Kisat, Lake Victoria Catchment, Kisumu County, Kenya,» *Environ Pollut Climate Change*, vol. 1, n° 137, 2017.
- [51] H. Rivas, Manual para la implementación de programas de monitoreo comunitario de la calidad del agua, México: Rivas Solórzano, Hilda, 2018.
- [52] L. Quiroz, E. Izquierdo y C. Menéndez, «Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 38, n° 3, pp. 41-51, 2017.
- [53] R. Ferrier, A. Edwards, D. Hirst, I. Littlewood, C. Watts y R. Morris, «Water quality of Scottish rivers: spatial and temporal trends,» *Science of the Total Environment*, n° 265, p. 327–342, 2001.
- [54] R. Brown, N. McClelland, R. Deninger y R. G. «. Tozer, «A water quality index: do we dare?,» *Water & Sewage Works*, vol. 117, n° 10, pp. 339-343, 1970.
- [55] B. Mendoza y W. Tingo, «Estudio de la calidad del agua con bio-indicadores y geomorfología para el desarrollo eco-sistémico de la intercuenca del río Ambato (EC),» de *Century Watershed conference and workshop*, Quito, 2016.
- [56] Gobierno Provincial de Tungurahua, «Manejo Ecológicamente Compatible de las Cuencas del Tungurahua 2005,» *Plan Maestro 2005 de los Recursos Hídricos de la Provincia de Tungurahua.*, 2005.
- [57] Gobierno Provincial de Tungurahua, Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Tungurahua. Fase de diagnóstico 2015, Ambato: Gobierno Provincial, 2015.

- [58] J. Díaz y C. A. Granada, «Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia,» *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 66, nº 1, pp. 45-52, 2018.
- [59] E. X. Carvajal Parra, «Análisis integral de la calidad de agua del río Ambato, mediante la utilización de indicadores biológicos, complementadas con variables físico-químicas, para la generación de propuestas de gestión,» Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [60] «Constitución de la República del Ecuador,» *Registro Oficial 449*, 20 Octubre 2008.
- [61] Código Orgánico del Ambiente, 2017, Ley 0. Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril del 2017.
- [62] INEN, NTE INEN 1108. Agua para consumo humano. Requisitos., Sexta revisión ed., Quito : Norma Técnica Ecuatoriana. – Ecuador, 2020.
- [63] N. Fernández y F. Solano, Índices de Calidad de Agua e Índices de Contaminación, Universidad de Pamplona, Colombia, 2005.
- [64] W. Tingo, Plan de manejo de la intercuenca zona media del río Ambato, nivel 7 – código PFASTETTER: 4996927, ubicada en el cantón Ambato provincia de Tungurahua, Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.
- [65] PROMACH – GTZ, Proyecto de manejo de Cuencas Hidrográficas. Evaluación fase abierta de orientación y diseño de la siguiente fase del proyecto de Manejo integral de la Cuenca hidrográfica del río Ambato, GTZ, 2001.
- [66] N. Samboni, Y. Carvajal y J. «. Escobar, «Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua,» *Revista Ingeniería e Investigación*, vol. 27, nº 3, pp. 172-181, 2007.
- [67] E. W. Rice, R. B. Baird y A. D. Eaton, MÉTODOS ESTÁNDAR PARA EL ANÁLISIS DE AGUA Y AGUAS RESIDUALES, 23A EDICIÓN, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. ISBN: 9780875532875, 2017.
- [68] N. M. NMX-AA-051-SCFI, «NMX-AA-05-SCFI-2016. Análisis de agua: Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales. Método de prueba.,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf>. [Último acceso: 28 Diciembre 2020].
- [69] U. S. E. P. A. (EPA), *Método EPA 3015A: Digestión ácida asistida por microondas de muestras y extractos acuosos*, Washington DC,,: Revisión 1., 2007.
- [70] INEN, *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1106. Aguas: Determinación de Oxígeno Disuelto*, Ecuador: AL. 01.06-320, 1983.
- [71] INEN, *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1203-2013*, Ecuador, 2013.
- [72] C. Rodríguez, A. G. Coy y M. E. Duque, «Demanda Química de Oxígeno por Reflujo Cerrado y Volumetría. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Quimica+de+Ox>

geno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb. [Último acceso: 24 Noviembre 2020].

- [73] S. López, «Validación del método respirométrico para determinar DBO5 en aguas residuales y naturales en el Distrito Metropolitano de Quito,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [74] SENAGUA, «Secretaría del Agua: Concesiones de agua localizados en los márgenes del río Ambato,» Ambato, 2015.
- [75] Z. Paredes y Y. Huaira, «Derechos de la naturaleza en el ordenamiento constitucional vigente,» Facultad de Jurisprudencia, Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2014.
- [76] F. Fuentes y A. J. P. Massol-Deyá, «Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos,» *Pt*, vol. 3, pp. 1-15, 2002.
- [77] R. A. Campaña Lozano y E. Gualoto Kirochka, «Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito (DMQ),» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2015.
- [78] L. L. Fiallos Núñez, «"Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación El Peral, EMAPA-Ambato,» Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [79] J. Coello, R. Ormaza, Á. Déley, C. Recalde y A. J. R. d. I. d. I. d. I. F. d. I. G., «Rios, Minera, Metalúrgica y Geográfica, "Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocha-Parque Nacional Sangay-Ecuador,» *Rev. del Instituto de Investigación RIIGEO*, vol. 15, n° 30, pp. 66-71, 2013.
- [80] M. d. C. Guerrero Crespo y H. E. Arias Pilatuña, «Determinación de la conductividad eléctrica y la cantidad de oxígeno disuelto en las aguas afluentes del Río Cutuchi desde el puente cinco de junio hasta los molinos poulter, cantón de Latacunga. provincia de Cotopaxi. periodo 2013-2014,» Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2014.
- [81] J. D. Aysalla Panchi, «Estudio de la capacidad de la especie Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en la acumulación de metales pesados en la siembra hidropónica con agua del canal de riego Latacunga–Salcedo–Ambato,» Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), Latacunga, Ecuador, 2017.
- [82] A. B. Chávez Cárdenas, «Evaluación de metales pesados en el canal de riego Ambato-Pelileo de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua,» Facultad de Ciencias: Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2019.
- [83] P. H. Tirado Ríos y L. Valverde Gómez, «Determinación de la concentración de hierro, manganeso y cobre en aguas del río Chiminero de la provincia de Cajabamba,» Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2018.

- [84] M. Peris Mendoza, «Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón,» Ingeniería Química Universidad de Valencia, Valencia, España, 2005.
- [85] D. P. Reinoso Torres, «Evaluación de cepas bacterianas resistentes a metales pesados en la zona del canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato con potencial biorremediador,» Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, 2016.
- [86] A. Garzón, «Información Plomo y Cadmio en Ecuador,» Ministerio del Ambiente - República del Ecuador, 2006.
- [87] N. Cabeza, «Diseño de un planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Quesera del Sinche, parroquia Guanujo, cantón Guaranda,» 2017.
- [88] L. F. Salazar Holguín, «Análisis de la calidad de agua del río Jerusalén afluente del río Pedro Carbo-Guayas para uso agrícola,» Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, 2020.
- [89] C. Tirado Guamán, «Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la calidad de agua que accede a la planta de tratamiento Casi gaña (EP EMAPA-Ambato) y estrategias para evitar su contaminación,» Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.
- [90] J. E. Chávez Narváez, «Determinación de la calidad del agua del río Maguazp por medio del método WQI en el período Abril a Junio del 2016,» 2016.
- [91] O. Sardiñas Peña y A. Pérez Cabrera, «Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato,» *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 42, n° 2, 2004.
- [92] J. A. Maza Lema, «Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de fosfato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador,» Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2017.
- [93] J. L. Meneses Sánchez, «Calidad del agua en la microcuenca Los Hules-Tinajones, cuenca del Canal, Panamá,» Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,, Costa Rica, 2003.
- [94] M. A. Ortiz, P. Noles, A. Cruz, F. Peñarrieta y F. Alcantara, «Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí,» *Enfoque UTE*, vol. 10, n° 3, pp. 30-41, 2019.
- [95] R. Baque Mite, L. Simba Ochoa, B. González Ozorio, P. Suatunce, E. Diaz Ocampo y L. Cadme Arevalo, «Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador,» *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 9, n° 20, pp. 109-117, 2016.
- [96] V. Ortíz Muñoz y R. Alvarez León, «Caracterización de la tolerancia ambiental de las comunidades ícticas en subsidiarios de los ríos Cauca y Magdalena, Colombia,» *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, vol. 68, pp. 7-20, 2008.
- [97] Á. Mendoza Carreño, L. R. L. Vidal, E. A. Hurtado, R. Barrios Maestre y R. Silva Acuña, «Eficiencia de microorganismos y zeolitas en la corrección de propiedades químicas de aguas de la microcuenca del Río Carrizal, Ecuador,» *Agronomía Tropical*, vol. 68, n° 1-2, pp. 22-34, 2018.

- [98] O. Bulacios Muñiz, «Variaciones en las características hidroquímicas de la subcuenca del río Ambato, provincia de Catamarca, Argentina,» Escuela de Posgrado: Agua y Humedales, Universidad Nacional de San Martín, Argentina, San Martín, Argentina, 2018.
- [99] M. Salomón, R. Sánchez, C. Ríos y E. Abraham, «Indicadores biofísicos, socioeconómicos e institucionales y desarrollo de políticas de manejo sustentable del agua en una zona seca de los andes centrales del Ecuador. Caso de estudio de la cuenca del río Ambato,» A. d. I. d. Cauces, Ed., ed. Ecuador, Ambato, 2006.
- [100] M. D. Calderón Valdiviezo, «Determinación de la influencia de lechuguín (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) y lenteja de agua (Lemna spp.) en la reducción de la dureza del agua de riego de la Empresa Flores del Cotopaxi SA,» Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato, Ecuador, 2015.
- [101] E. Custodio y F. Alcalá García, «El potencial de la relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad de los acuíferos costeros españoles,» *Coastal aquifers intrusion technology: Mediterranean Countries. IGME*, pp. 401-412, 2003.
- [102] A. Villacis, «Estudio de un sistema de depuración de aguas residuales para reducir la contaminación de río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua,» Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica De Ambato, Ambato, 2011.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Modelo Cadenas de Custodia Fase 1 Punto

CADENA DE CUSTODIA MUESTREO DE AGUAS														Código: <b>B</b>	
EMPRESA (GAFI DE MONITOREO)				FECHA Y HORA				SECCION				RESPONSABLE EMPRESA			
				Canal Huachi (Peltico)								Marta Fernanda Garces			
PROYECTO				CONDICIONES METEOROLÓGICAS PLAZO DE OBSERVACION				MUESTRO PLANEO MUESTREO							
COORDINADORA				ESTADÍSTICAS				COLOR				APARENCIA DE LA MUESTRA			
ESTRAT. ASESOR				HUMEDAD RELATIVA				SOLUC. ASACIDO				TURBIDEZ			
STN				TEMPERATURA				TURBIDEZ				OPACIDAD			
				54,8											
				11,3											
N°	TIPO DE MUESTRA	FECHA MUESTREO	HORA DE MUESTREO	TEMPERATURA		pH	CONDUCIVIDAD (µS/cm)	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	OPACIDAD (TU)	DETERMINACIONES EN LABORATORIO				
				Superficie	Profundidad						CO2 DISUELTO (mg/l)	CLORURO (mg/l)	FLUORURO (mg/l)	AMONIO (mg/l)	NITRITO (mg/l)
1	H1	29/02/20	16:00	/	/	7,8		13,4			/	/	/	/	/
2	H1	29/02/20	16:10	/	/	7,8		13,7			/	/	/	/	/
3	H3	29/02/20	16:20	/	/	7,9		13,7			/	/	/	/	/


VERIFICACIONES DEL PUNTO DE MUESTREO				EQUIPOS				VERIFICACIONES DE EQUIPOS DE CAMPO			
DESCRIPCION EQUIP	MARCA/ELABORACION	ESTADO	FECHA	BOMBA		ESTANNDAR		CRITERIO		OBSERVACIONES	
				REVISION DE CALIBRACION	REVISION DE CONDUCTIVIDAD	FE	NOV	CLASIFICACION	CUMPLE	Verificación en Campo	Verificación en Laboratorio
				FECHA RESPONSABLE DE LA TOMA Y ENVIO DE MUESTRA				FECHA RESPONSABLE DE LA RECEPCION DE MUESTRA EN EL LAB DE ANALISIS FISICO Y QUIMICO			
				FECHA RESPONSABLE DE LA ENTREGA DE MUESTRA AL LABORATORIO DE ANALISIS				FECHA RESPONSABLE DE LOS ANÁLISIS			

<b>RESPONSABLE DEL PUNTO DE MUESTREO</b> - GAFI DE MONITOREO - ESTADÍSTICAS - MUESTREO - MUESTRO PLANEO - MUESTRO DE AGUAS - MUESTRO DE AGUAS - MUESTRO DE AGUAS - MUESTRO DE AGUAS - MUESTRO DE AGUAS	NOMBRE: FECHA: 29/02/20 HORA DE ENVIO:	NOMBRE: FECHA: HORA DE ENTREGA:	NOMBRE: FECHA: HORA DE RECEPCION:
---	--	---------------------------------------	---



## ANEXO 2 Programa de Monitoreo Río Ambato

	PLAN DE MUESTREO DE AGUAS NATURALES Y SUPERFICIALES	Código: PM-01
		Edición:02
		Página 1 de 6

### 1. OBJETIVO

Establecer los procesos adecuados para la toma, preservación y transporte de las muestras de aguas naturales y superficiales para la evaluación de características fisicoquímicas de muestras de río, evitando alterar las condiciones originales de las muestras.

### 2. ALCANCE

El presente procedimiento aplica a todas las actividades de muestreo de aguas naturales y superficiales, para la caracterización de la calidad de agua de estas.

### 3. PRINCIPIO


Las aguas naturales comprenden todas aquellas cuyas propiedades originales no han sido modificadas por la actividad humana; y se pueden clasificar en:

- Superficiales, como aguas de lagos, lagunas, pantanos, arroyos con aguas permanentes y/o intermitentes, ríos y sus afluentes, nevados y glaciares.
- Subterráneas, en estado líquido o gaseoso que afloran de forma natural o por efecto de métodos artificiales.
- Meteóricas o atmosféricas, que provienen de lluvias de precipitación o artificial.

De manera particular las aguas superficiales son susceptibles a cambios en diferente grado como resultado de las reacciones físicas, químicas o biológicas, las cuales tienen lugar desde el momento del muestreo al comienzo del análisis. La naturaleza y la velocidad de estas reacciones son tales que, si no se toman precauciones antes y durante el transporte, así como durante el tiempo en el cual las muestras son conservadas en el laboratorio antes del análisis, las concentraciones determinadas en el laboratorio serán diferentes a las existentes en el momento del muestreo.

### 4. DISEÑO DEL PLAN DE MONITOREO

Se analizan varios enfoques de muestreo comúnmente utilizados en la recolección de datos ambientales que definen dónde y cuándo recolectar muestras, incluido el

	PLAN DE MUESTREO DE AGUAS NATURALES Y SUPERFICIALES	Código: PM-01
		Edición:02
		Página 2 de 6

muestreo crítico, el muestreo aleatorio simple, el muestreo estratificado y el muestreo sistemático. El muestreo crítico es un enfoque de base no estadística, y los otros tres se denominan muestreo probabilístico.

El muestreo crítico es el diseño considerado para elaborar el plan de muestreo para la DIVISO UTA y considera a la selección subjetiva de ubicaciones de muestreo basadas en el juicio profesional utilizando información previa sobre el sitio de muestreo, inspección visual (por ejemplo, fugas y decoloración) y / o conocimiento y experiencia personal. Una de las razones para escoger este tipo de muestreo se debe a que el presupuesto es ajustado. El muestreo crítico también se prefiere en la etapa inicial de la investigación del sitio o cuando el objetivo del proyecto es simplemente detectar un área para detectar la presencia o ausencia de contaminación, de modo que se pueda tomar una decisión inmediata si se necesita o no un muestreo estadístico de seguimiento.

#### **4.1 REACTIVOS Y MATERIALES DE REFERENCIA**

Las establecidas en las normas y métodos de ensayo a los que aplica (Procedimiento interno y/o método de referencia

### **5. NORMAS DE SEGURIDAD**


Se aplican las normas, procedimientos operativos establecidos en la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) y bajo la guía de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, de tal manera que se asegure la calidad de los resultados del laboratorio.

### **6. PREPARACIÓN**

#### **6.1 Preparación de muestras**

Se tomó como guía las normas:

- NTE INEN 2169:2013 Agua. calidad del agua. muestreo. manejo y conservación de muestras

	<p style="text-align: center;">PLAN DE MUESTREO DE AGUAS NATURALES Y SUPERFICIALES</p>	Código: PM-01
		Edición:02
		Página 3 de 6

- NTE INEN 2176:2013 técnicas y precauciones generales para la toma, conservación y transporte de todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos.
- NTE INEN 2226:2013 Agua, Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo.

## 6.2 Frecuencia de monitoreo

El establecimiento de una frecuencia de monitoreo de calidad de agua natural y superficial depende de factores como:

- Objetivos del programa de monitoreo y la vigilancia.
- Presupuesto destinado para llevar a cabo el programa de monitoreo.
- Estacionalidad de la cuenca (época seca, época de lluvias)
- La ocurrencia de eventos extraordinarios


La frecuencia de muestreo de aguas naturales y superficiales se consideró de forma anual.

## 6.3 Selección de los sitios de muestreo.

La selección de los sitios de muestreo estará en función a los siguientes aspectos de evaluación

- Para proyectos específicos de contaminación de cuencas y microcuencas de la provincia de Tungurahua.
- Vigilancia de los cuerpos de agua para determinar el impacto que ocasionan las aguas residuales procedentes de las actividades económicas y poblacionales.

Cada uno de los sitios seleccionados se encuentra justificados en base a los requerimientos del sistema de microcuencas del agua del Rio Ambato, datos facilitados por la secretaría nacional del Agua (SENAGUA).

	PLAN DE MUESTREO DE AGUAS NATURALES Y SUPERFICIALES	Código: PM-01
		Edición:02
		Página 4 de 6

#### **6.4 Distribución de los parámetros de análisis según el tipo de preservación y conservación usado en el muestreo**


El plan de muestreo incluye dentro de su formato directrices generales de técnicas de muestreo ambiental considerando por ejemplo la cantidad de muestra que se debe recolectar, cuánto tiempo se puede conservar la muestra antes del análisis, y cómo recolectar muestras representativas para diversos analitos y matrices.

##### **6.4.1 Cantidad de muestra**

La cantidad mínima de muestra requerida depende principalmente de la concentración de los analitos presentes en las matrices de muestra. El volumen de la muestra debe ser suficiente para realizar todos los análisis de laboratorio requeridos con una cantidad adicional restante. Otro factor determinante es la representatividad asociada con la cantidad de muestra. Para muestras heterogéneas, generalmente se requiere una porción más grande para ser un representante de las variaciones reales de la muestra, de modo que se puedan minimizar los posibles resultados sesgados. Esta porción más grande de la muestra recolectada se homogeneiza luego, seguido de submuestreo. El volumen mínimo de muestra líquida varía considerablemente en el rango de 5 mL para TPHs en desechos líquidos, 100 mL para metales totales y 1 L para trazas orgánicas como pesticidas. Esta estimación global del tamaño de la muestra representa un volumen suficiente para realizar un solo análisis, y como guía general, el volumen mínimo recolectado debe ser de tres a cuatro veces la cantidad requerida para el análisis.

##### **6.4.2 Conservación y almacenamiento de muestras**

El propósito de la preservación de la muestra es minimizar cualquier cambio físico, químico y / o biológico que pueda tener lugar en una muestra desde el momento de la recolección hasta el momento del análisis de la muestra. Generalmente, se utilizan tres enfoques (es decir, refrigeración, uso del contenedor de muestra adecuado y adición de productos químicos conservantes) para minimizar tales cambios.

	<p>PLAN DE MUESTREO DE AGUAS NATURALES Y SUPERFICIALES</p>	Código: PM-01
		Edición:02
		Página 5 de 6

## 7. DESARROLLO

### 7.1 Tipo de muestra

#### 7.1.1 Vertientes, canales y ríos

La toma de muestra es simple y puntual asumiendo que guarda la representatividad del cuerpo de agua muestreado. Considerando los sitios seleccionados y la frecuencia.

### 7.2 Métodos de muestreo

Se utiliza el muestreo manual, predominando las facultades sensoriales de la persona que muestrea, no se utiliza muestreador automático, debido a los costos y consideraciones como su calibración, ajuste de acuerdo a sus componentes (velocidades de las bombas, tamaño de los tubos, etc.).

### 7.3 Toma de Muestras


#### 7.3.1 Plan de muestreo

Se elabora un plan de muestreo particular para cada sistema que se opera, donde consta: los sitios de muestro, los parámetros de análisis, que a su vez define los compuestos de interés ambiental, la frecuencia de muestreo, tipo de recipientes, reactivos para preservación; procedimientos de conservación, manera y tiempo de transporte de la muestra, entre otros.

##### 7.3.1.1 Equipo de Campo

El equipo que se lleva corresponde al requerido para obtener los datos en el sitio de muestreo. Los instrumentos son, según el parámetro que se obtiene:

- Potenciómetro o pH metro para determinar el pH.
- Termómetros para medir la temperatura del agua y del ambiente.
- Oxímetro para medir el Oxígeno disuelto
- Turbidímetro para establecer la turbiedad
- Conductímetro para medir conductividad, TDS y salinidad

	<p>PLAN DE MUESTREO DE AGUAS NATURALES Y SUPERFICIALES</p>	Código: PM-01
		Edición:02
		Página 6 de 6

Todos estos equipos son previamente calibrados antes de empezar las mediciones con sus respectivos estándares. (Instructivo para la calibración de equipos de campo y medición in situ en las fuentes, captaciones y embalses).

#### **7.3.1.2 Lista de Chequeo**

El objetivo de la lista de chequeo es verificar todos los materiales, equipos, reactivos, indispensables para el desarrollo eficiente del trabajo en campo.

### **8. RESULTADOS**

- Cuaderno de trabajo.
- Cadena de custodia para muestreo de agua aplicando plan de muestreo.

### **9. REGISTROS**

Los resultados se registrarán en el cuaderno de trabajo, con tres decimales.

### ANEXO 3

#### Norma TULSMA que indica los límites permisibles

**TABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles	Concentración total de PCBs. Bs	mg/l	0,5	0,5	0,5
Bifenilos policlorados/PCBs		mg/l	0,001	0,001	0,001
Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H <sub>2</sub> S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuro Libre	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	0,0003	0,0003	0,0003
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1

Continuación...

**TABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,025	0,1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3	Condiciones naturales + 3	Condiciones naturales + 3
Coliformes	nmp/100 ml		Máxima 20 200	Máxima 32 200	Máxima 32 200

**TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600



Continuación...

**TABLA 4. Límites máximos permisibles adicionales para la interpretación de la calidad de las aguas.**

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	
		Agua Marina	Agua Dulce
Dicloropropanos	µg/l	31	57
Dicloropropenos	µg/l	0,8	2
Difenil Hidrazina (1,2)	µg/l		0,3
Dimetilfenol (2,4-)	µg/l		2
Dodecacoloro + Nonacoloro	µg/l	0,001	
Etilbenceno	µg/l	0,4	700
Fluoruro total	µg/l	1 400	4
Hexaclorobutadieno	µg/l	0,03	0,1
Hexaclorociclopentadieno	µg/l	0,007	0,05
Naftaleno	µg/l	2	6
Nitritos	µg/l	1 000	60
Nitrobenceno	µg/l	7	27
Nitrofenoles	µg/l	5	0,2
PCB (total)	µg/l	0,03	0,001
Pentaclorobenceno	µg/l		0,03
Pentacloroetano	µg/l	3	4
P-clorometacresol	µg/l		0,03
Talio (total)	µg/l	2	0,4
Tetraclorobenceno (1,2,3,4-)	µg/l		0,1
Tetraclorobenceno (1,2,4,5-)	µg/l		0,15
Tetracloroetano (1,1,2,2-)	µg/l	9	24
Tetracloroetileno	µg/l	5	260
Tetraclorofenoles	µg/l	0,5	1
Tetracloruro de carbono	µg/l	50	35
Tolueno	µg/l	50	300
Toxafeno	µg/l	0,005	0,000
Tricloroetano (1,1,1)	µg/l	31	18
Tricloroetano (1,1,2)	µg/l		94
Tricloroetileno	µg/l	2	45
Uranio (total)	µg/l	500	20
Vanadio (total)	µg/l		100

#### ANEXO 4

*Tabla 52. Pesos ponderados para cada variable según los índices NSF*

			FACTOR Wi
<b>OXIGENO DISUELTO</b>	mg/l	MAM-22/APHA 4500-O C MODIFICADO	<b>0,21</b>
<b>pH</b>		POTENCIOMÉTRICO	<b>0,15</b>
<b>DBO5</b>	mgO <sub>2</sub> /l	APHA 5210 B	<b>0,15</b>
<b>*TURBIDEZ</b>	UNT	ESPECTROFOTOMÉTRICO MERCK	<b>0,12</b>
<b>SOLIDOS DISUELTOS TOTALES</b>	mg/l		<b>0,11</b>
<b>NITRATOS</b>	mg/l	APHA 4500-NO <sub>3</sub> -B	<b>0,14</b>
<b>FOSFATOS</b>	mg/l	APHA 4500-P, C	<b>0,14</b>

**Tabla 53.** Valores promedio obtenidos de los análisis de la fase 1 y Fase 2 para el cálculo del ICA

PARÁMETROS	HUACHI - PELILEO		ESTACION HUAICO		DESCARGA PASA		SECTOR AGUAJAN		SECTOR TILULUM		PARQUE EL SUEÑO		SOCABON		PASO LATERAL		QUILLÁN		LAS VIÑAS	
	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2
OXIGENO DISUELTO	3,210	2,500	3,150	1,850	4,200	3,300	3,230	3,450	3,800	3,400	2,050	3,200	3,950	3,500	3,850	2,950	0,100	2,950	2,160	3,750
pH	78,000	94,000	65,750	90,580	70,650	91,440	80,100	85,540	86,620	86,800	89,860	89,500	73,800	89,140	82,550	91,300	78,700	93,280	91,760	90,400
DBO5	89,640	80,980	41,990	46,330	55,000	80,980	63,660	72,320	72,320	80,980	80,980	80,980	80,980	80,980	50,660	37,660	46,330	89,640	80,980	80,980
*TURBIDEZ	33,810	87,470	76,640	66,660	91,800	76,640	5,000	5,000	80,970	56,660	96,130	71,650	69,980	69,980	89,640	74,980	55,830	57,500	76,640	55,830
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79,500	77,200	74,910	78,570	75,210	78,300	74,910	76,510	70,910	74,320	75,910	75,410	72,780	75,210	72,780	78,200	71,450	74,710	72,380	74,510
NITRATOS	97,000	93,500	96,000	93,500	96,000	93,500	95,000	93,000	96,500	94,000	97,000	95,000	97,500	95,000	97,500	95,500	96,500	95,000	97,000	94,500
FOSFATOS	46,000	88,000	88,000	88,000	88,000	88,000	25,400	64,000	88,000	88,000	82,000	88,000	88,000	88,000	82,000	88,000	64,000	82,000	82,000	82,000

F1: Primera campaña de muestreo realizado el 29 de febrero de 2020; F2: Segunda campaña de muestreo realizado el 29 de mayo de 2021.

**Determinación de  $I_i$  mediante interpolación con los valores de las curvas del ICA.**

**Cálculo demostrativo del Oxígeno disuelto.**

X	Y
0	0
6,42	x
20	10

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{X - X_1}$$

$$\frac{10 - 0}{20 - 0} = \frac{0 - x}{0 - 6,42}$$

$$\frac{10}{20} = \frac{-x}{-6,42}$$

$$-6,42(0,5) = -x$$

$$-3,21 = -x$$

$$-(3,21) = -(-x)$$

$$x = 3,21$$

$$I_i = 3,21$$

**Tabla 54.** Valores de  $W_i$  y de  $I_i$  para cada uno de los parámetros analizados

PARÁMETROS	<b><math>I_i</math></b>																				<b><math>W_i</math></b>
	HUACHI - PELILEO		ESTACION HUAICO		DESCARGA PASA		SECTOR AGUAJAN		SECTOR TILULUM		PARQUE EL SUEÑO		SOCABON		PASO LATERAL		QUILLÁN		LAS VIÑAS		
	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	F 1	F 2	
OXIGENO DISUELTO	3,21	2,500	3,15	1,85	4,200	3,30	3,23	3,45	3,80	3,40	2,04	3,20	3,95	3,50	3,85	2,95	0,10	2,95	2,16	3,75	<b>0,21</b>
pH	78,00	94,00	65,75	90,58	70,65	91,44	80,10	85,54	86,62	86,80	89,86	89,50	73,80	89,14	82,55	91,30	78,70	93,28	91,76	90,40	<b>0,15</b>
DBO5	89,64	80,98	41,99	46,33	55,00	80,98	63,66	72,32	72,32	80,98	80,98	80,98	80,98	80,98	50,66	37,66	46,33	89,64	80,98	80,98	<b>0,15</b>
*TURBIDEZ	33,81	87,47	76,64	66,66	91,8	76,64	5,00	5,00	80,97	56,66	96,13	71,65	69,98	69,98	89,64	74,98	55,83	57,5	76,64	55,83	<b>0,12</b>
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79,50	77,20	74,91	78,57	75,21	78,30	74,91	76,51	70,91	74,32	75,91	75,41	72,78	75,21	72,78	78,20	71,45	74,71	72,38	74,51	<b>0,1</b>
NITRATOS	97,0	93,5	96,0	93,5	96,0	93,5	95,0	93,0	96,5	94,0	97,0	95,0	97,5	95,0	97,5	95,5	96,5	95,0	97,0	94,5	<b>0,14</b>
FOSFATOS	46,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	25,40	64,00	88,00	88,00	82,00	88,00	88,00	88,00	82,00	88,00	64,00	82,00	82,00	82,00	<b>0,14</b>

F1: Primera campaña de muestreo realizado el 29 de febrero de 2020; F2: Segunda campaña de muestreo realizado el 29 de mayo de 2021.

**Determinación del ICA en la fase 1 del punto muestreado de Huachi Pelileo. Cálculo demostrativo.**

$$ICA = \sum_{i=1}^n (I_i \times W_i)$$

$$ICA = (3,21 * 0,21) + (78 * 0,15) + (89,64 * 0,15) + (33,81 * 0,12) + (79,5 * 0,11) + (97 * 0,14) + (46 * 0,14)$$

$$ICA = 0,674 + 11,700 + 13,446 + 4,057 + 8,745 + 13,580 + 6,440$$

$$ICA = 58,642$$

## **ANEXO 5**

### **Fotografías de la parte experimental**

#### **Fase 1 Punto 1: canal Huachi Pelileo**



#### **Fase 2 Punto 1: canal Huachi Pelileo**



**Fase 1 Punto 2: Estación El Huaico**



**Fase 2 Punto 2: Estación El Huaico**



**Fase 1 Punto 3: Descarga Pasa**



**Fase 2 Punto 3: Descarga Pasa**



**Fase 1 Punto 4: Aguajan**



**Fase 2 Punto 4: Aguajan**



**Fase 1 Punto 5: Tilulum**



**FASE 2 Punto 5: Tilulum**





**Fase 1 Punto 6: El Sueño**



**Fase 2 Punto 6: El Sueño**



**Fase 1 Punto 7: Socavón**



**Fase 2 Punto 7: Socavón**



**Fase 1 Punto 8: Paso Lateral**



**Fase 2 Punto 8: Paso Lateral**



**Fase 1 Punto 9: Quillán**



**Fase 2 Punto 9: Paso Quillán**



### **Fase 1 Punto 10: LAS VIÑAS**



### **Fase 2 Punto 10: LAS VIÑAS**



### **Toma De Datos In Situ pH Y Temperatura**

**Toma de valores meteorológicos de temperatura y coordenadas geográficas**

