

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Evaluación de la calidad de agua del río Upano ubicado en la región Amazónica, provincia de Morona Santiago - Ecuador

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Químico


Autor:

Cristopher Sebastián Pesántez Mendieta

Paolo Daniel Samaniego Navarrete

Director:

Gonzalo Javier Astudillo Ochoa

ORCID:  0009-0009-9931-5689

Cuenca, Ecuador

2024-02-07

Resumen

A las faldas del volcán Sangay se encuentra el río Upano. Dadas las erupciones del volcán y a impactos antropogénicos, se pueden haber alterado ciertos parámetros de la fuente hídrica, la misma que atraviesa por algunos cantones de la provincia, por lo cual es crucial evaluar la calidad del agua, debido a que es un recurso vital para la supervivencia y desarrollo de los seres vivos. Se implementó un sistema de monitoreo a lo largo del río y se establecieron 13 parámetros de control: sólidos totales (Análisis gravimétrico), sólidos disueltos (Conductímetro), pH (pHmetro), conductividad (Conductímetro), turbiedad (Turbidímetro), nitratos (Hach - DR2800), cromo hexavalente (Hach - DR2800), sulfatos (Hach - DR2800), dureza (Tira reactiva), alcalinidad (Tira reactiva), fósforo (Hach - DR2800), coliformes totales y coliformes fecales (NMP); para llevar a cabo las evaluaciones en el laboratorio. Se recolectaron y analizaron 25 muestras en la microcuenca del río Upano. Durante 5 semanas, se examinaron los puntos: Alto Upano, La Unión, Wapu, Santa Rosa y Macas. Los Índices de Calidad del Agua (ICA) que se determinaron fueron: la National Sanitation Foundation (NSF) y el Índice de calidad de agua de Oregón (OWQI), los índices de contaminación por mineralización (ICOMI), por materia orgánica (ICOMO) y por sólidos suspendidos (ICOSUS). La calidad del agua es "Mala" y "Muy Pobre" según los índices NSF y OWQI, respectivamente, a partir de su confluencia con el río Volcán. Sin embargo, en su estado natural, ambos índices indican que el agua es apta para la vida acuática y silvestre.

Palabras clave: impactos antropogénicos, contaminación del agua, índices de calidad



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

At the foothills of the Sangay volcano lies the Upano River. Due to volcanic eruptions and anthropogenic impacts, certain parameters of this water source may have been altered. This river traverses through several cantons in the province, making it crucial to assess water quality, as it is a vital resource for the survival and development of living organisms. A monitoring system was implemented along the river, establishing 13 control parameters: total solids (gravimetric analysis), dissolved solids (conductivity meter), pH (pH meter), conductivity (conductivity meter), turbidity (turbidimeter), nitrates (Hach - DR2800), hexavalent chromium (Hach - DR2800), sulfates (Hach - DR2800), hardness (reactive strip), alkalinity (reactive strip), phosphorus (Hach - DR2800), total coliforms, and fecal coliforms (MPN); for laboratory evaluations. Twenty-five samples were collected and analyzed in the Upano River micro-basin. Over a period of 5 weeks, the following points were examined: Alto Upano, La Unión, Wapu, Santa Rosa, and Macas. Water Quality Index (WQI) values were determined using the National Sanitation Foundation (NSF) and the Oregon Water Quality Index (OWQI), along with pollution indices for mineralization (ICOMI), organic matter (ICOMO), and suspended solids (ICOSUS). Water quality is classified as "Poor" and "Very Poor" according to NSF and OWQI indices, respectively, from its confluence with the Volcan River. However, in its natural state, both indices indicate that the water is suitable for aquatic and wildlife preservation.

Keywords: anthropogenic impacts, water pollution, quality indices



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Agradecimiento	9
Dedicatoria	10
Dedicatoria	11
Antecedentes	12
Problemática	13
Justificación	14
Objetivos	15
Objetivos generales	15
Objetivos específicos	15
Capítulo I	16
1 Marco teórico	16
1.1 Generalidades del agua	16
1.1.1 Características de los ríos como fuentes comunes de agua	16
1.2 Afluentes involucrados en el proyecto	16
1.2.1 Río Upano	16
1.2.2 Río Volcán	17
1.3 Contextualización: río Upano y volcán Sangay	17
1.4 Flujos piroclásticos	17
1.4.1 Generalidades	17
1.4.2 Composición	18
1.5 Cenizas volcánicas	18
1.5.1 Generalidades	18
1.6 Contaminación del agua por flujos piroclásticos y cenizas volcánicas	18
1.7 Aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces	19
1.8 Parámetros físicos del agua	19
1.8.1 Sólidos totales	19
1.8.2 Turbidez	20
1.8.3 Potencial hidrógeno	20
1.8.4 Conductividad eléctrica	20
1.8.5 Sólidos disueltos totales	20
1.9 Parámetros químicos del agua	21
1.9.1 Dureza	21
1.9.2 Alcalinidad	21
1.9.3 Nitratos	22
1.9.4 Sulfatos	22
1.9.5 Fósforo	22
1.9.6 Cromo hexavalente	23
1.10 Parámetros microbiológicos del agua	23
1.10.1 Coliformes Totales	23
1.10.2 Coliformes Fecales	24
1.11 Índices de calidad del agua	24
1.11.1 Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF)	24
1.11.2 Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI)	25
1.12 Índices de contaminación del agua	25

1.12.1	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	25
1.12.2	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	25
1.12.3	Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS)	25
Capítulo II		26
2	Metodología	26
2.1	Tipo y diseño de investigación	26
2.2	Métodos para la recolección de datos	26
2.2.1	Área de estudio	26
2.2.2	Muestreo	26
2.2.3	Toma de Muestra	27
2.2.4	Puntos de Muestreo	27
2.3	Materiales, Reactivos y Equipos	31
2.4	Métodos, procedimientos y técnicas para determinación de análisis físico-químico y microbiológico	32
2.4.1	Parámetros Físicos	32
2.4.1.1	Sólidos totales	32
2.4.1.2	Alcalinidad	33
2.4.1.3	Conductividad	34
2.4.1.4	Dureza	35
2.4.1.5	pH	36
2.4.1.6	Sólidos totales disueltos	37
2.4.1.7	Turbidez	38
2.4.2	Parámetros Químicos	39
2.4.2.1	Nitratos	39
2.4.2.2	Sulfatos	40
2.4.2.3	Fósforo	41
2.4.2.4	Cromo hexavalente	43
2.4.3	Parámetros Microbiológicos	44
2.4.3.1	Coliformes Totales y fecales	44
2.5	Análisis estadístico y numérico	45
Capítulo III		46
3	Resultados	46
3.1	Análisis de Resultados	50
3.1.1	Análisis por medio del software IBM SPSS Statistics	50
3.1.1.1	Prueba de normalidad – Test de Shapiro Wilk	50
3.1.1.2	Prueba no paramétrica - H de Kruskal Wallis	51
3.1.1.3	Prueba de U de Mann-Whitney	52
3.1.2	Análisis por medio de Microsoft Excel	53
3.1.2.1	Sólidos Totales (10% max de la condición natural)	53
3.1.2.2	Turbiedad (5% max de la condición natural)	54
3.1.2.3	Potencial hidrógeno	55
3.1.2.4	Conductividad	55
3.1.2.5	Sólidos disueltos	56
3.1.2.6	Dureza	57
3.1.2.7	Alcalinidad	58
3.1.2.8	Nitratos	58
3.1.2.9	Sulfatos	59
3.1.2.10	Fósforo	59
3.1.2.11	Cromo	60
3.1.2.12	Coliformes Totales y Coliformes Fecales	60
3.1.3	Análisis por medio de herramienta ICATEST	61
3.1.3.1	Análisis de indicadores de calidad OWQI y NSF	62
3.1.3.2	Análisis de indicadores de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS	64

Capítulo IV	66
4 Conclusiones y recomendaciones	66
4.1 Conclusiones	66
4.2 Recomendaciones	67
5 Referencias	68
6 Anexos	73
6.1 Anexo A. Escala para clasificación según índice de calidad OWQI	73
6.2 Anexo B. Escala para clasificación según índice de calidad NSF	73
6.3 Anexo C. Escala para clasificación según índice de contaminación ICOMI	74
6.4 Anexo D. Escala para clasificación según índice de contaminación ICOMO	74
6.5 Anexo E. Escala para clasificación según índice de calidad ICOSUS	75
6.6 Anexo F. Muestra de agua del punto 1 (Alto Upano)	75
6.7 Anexo G. Muestra de agua del punto 2 (Unión entre río Volcán y río Upano)	76
6.8 Anexo H. Fotografía que muestra el río volcán el cual presenta gran contaminación.	76
6.9 Anexo I. Almohadillas utilizadas para reacción y posterior análisis químicos	77
6.10 Anexo J. Reactivo de Ehrlich utilizado para identificar si hay coliformes fecales	77
6.11 Anexo K. Colocación de muestras para posterior análisis de parámetros microbiológicos.	78
6.12 Anexo L. Resultados de prueba de normalidad de Shapiro Wilks arrojados por el software IBM SPSS Statistics	78
6.13 Anexo M. Resultados de prueba no paramétrica de Kruskal Wallis arrojados por el software IBM SPSS Statistics	79
6.14 Anexo N. Resultados de pruebas comparativas de Mann-Whitney arrojados por el software IBM SPSS Statistics	79

Índice de figuras

<i>Figura 1. Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo.</i>	28
<i>Figura 2. Toma de muestras en el punto 1 (Alto Upano).</i>	29
<i>Figura 3. Toma de muestras en el punto 1 (Alto Upano).</i>	29
<i>Figura 4. Toma de muestras en el punto 2</i>	29
<i>Figura 5. Toma de muestras en el punto 2</i>	29
<i>Figura 6. Toma de muestras en el punto 3 (Sector Wapu)</i>	30
<i>Figura 7. Toma de muestras en el punto 3 (Sector Wapu)</i>	30
<i>Figura 8. Toma de muestras en el punto 4 (Sector Santa Rosa).</i>	30
<i>Figura 9. Toma de muestras en el punto 4 (Sector Santa Rosa).</i>	30
<i>Figura 10. Toma de muestras en el punto 5 (Puente de Macas).</i>	31
<i>Figura 11. Toma de muestras en el punto 5 (Puente de Macas).</i>	31
<i>Figura 12. Análisis de Sólidos totales</i>	33
<i>Figura 13. Análisis de Alcalinidad</i>	34
<i>Figura 14. Análisis de Conductividad</i>	35
<i>Figura 15. Análisis de Dureza</i>	36
<i>Figura 16. Análisis de pH</i>	37
<i>Figura 17. Análisis de Sólidos Totales Disueltos</i>	38
<i>Figura 18. Análisis de Turbidez</i>	39
<i>Figura 19. Análisis de Nitratos</i>	40
<i>Figura 20. Análisis de Sulfatos</i>	41
<i>Figura 21. Análisis de Fósforo</i>	42
<i>Figura 22. Análisis de Cromo Hexavalente</i>	44
<i>Figura 23. Análisis de Coliformes Totales y Fecales.</i>	45
<i>Figura 24. Resultados obtenidos de sólidos totales con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	53
<i>Figura 25. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	54
<i>Figura 26. Resultados obtenidos de pH con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	55
<i>Figura 27. Resultados obtenidos de conductividad con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	55
<i>Figura 28. Resultados obtenidos de Sólidos Disueltos con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	56
<i>Figura 29. Resultados obtenidos de Dureza con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	57
<i>Figura 30. Resultados obtenidos de Alcalinidad con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	58
<i>Figura 31. Resultados obtenidos de Nitratos con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	58
<i>Figura 32. Resultados obtenidos de Sulfatos con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	59
<i>Figura 33. Resultados obtenidos de Fósforo con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	59
<i>Figura 34. Resultados obtenidos de Cromo con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	60
<i>Figura 35. Resultados obtenidos de Coliformes Totales con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	60
<i>Figura 36. Resultados obtenidos de Coliformes Fecales con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.</i>	61
<i>Figura 37. Análisis comparativo de índices.</i>	62
<i>Figura 38. Análisis comparativo entre muestreos de índices de calidad NSF y OWQI</i>	63
<i>Figura 39. Análisis comparativo entre muestreos de índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS</i>	64

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Puntos de muestreo de la transición del Río Upano</i>	27
<i>Tabla 2. Cronograma para semanas de muestreo.</i>	28
<i>Tabla 3. Materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</i>	31
<i>Tabla 4. Resultados obtenidos de la semana 1 en los 5 puntos de muestreo.</i>	46
<i>Tabla 5. Resultados obtenidos de la semana 2 en los 5 puntos de muestreo.</i>	47
<i>Tabla 6. Resultados obtenidos de la semana 3 en los 5 puntos de muestreo.</i>	47
<i>Tabla 7. Resultados obtenidos de la semana 4 en los 5 puntos de muestreo.</i>	48
<i>Tabla 8. Resultados obtenidos de la semana 5 en los 5 puntos de muestreo.</i>	49
<i>Tabla 9. Resultados de Prueba de normalidad Shapiro Wilk</i>	50
<i>Tabla 10. Resultados de prueba H de Kruskal Wallis</i>	51
<i>Tabla 11. Resultados de prueba Mann-Whitney</i>	52

Agradecimiento

A Dios por brindarnos su protección y ser nuestra fuerza durante este viaje académico. Su gracia y dirección han sido nuestro sustento en los momentos desafiantes y nuestra inspiración en cada logro alcanzado.

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad de Cuenca por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto académico. Su compromiso con la excelencia educativa y los recursos proporcionados fueron fundamentales en el desarrollo de esta tesis.

Agradecemos de manera especial a nuestro tutor Ing. Javier Astudillo, por su orientación, sabiduría y paciencia a lo largo de este proyecto. Su guía fue fundamental para la culminación de esta tesis.

Asimismo, nuestra gratitud se extiende a la Ing. Sonia Astudilla y la Ing. Anita Astudillo, cuyos aportes y conocimientos enriquecieron este trabajo académico.

Por otro lado, un especial agradecimiento al Ing. John Samaniego, este logro no habría sido posible sin su colaboración en el transporte brindado como también de aquellos que, de una forma u otra, formaron parte de este viaje. Su ayuda y apoyo fueron esenciales en la realización de esta tesis.

Y por último, y no menos importante quiero expresar mi agradecimiento a nuestros amistades, quienes brindaron apoyo emocional y aliento en cada etapa de este camino.

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a Dios y la Purísima de Macas, siendo mi fuente de fortaleza y sabiduría, quienes han sido mi luz en cada paso de este camino académico.

A mis padres John y Mercedes, por su amor, sacrificio y respaldo incondicional, por ser quienes me han impulsado a lograr cada uno de mis sueños con su ejemplo.

A mis hermanos John Xavier y Pamela, brindando apoyo, ánimo y comprensión han sido mi inspiración constante para alcanzar esta meta.

A mis abuelos por enseñarme que el trabajo duro tiene su recompensa, este logro es un tributo a su inmenso impacto en mi vida.

A mis amigos, cuyo constante ánimo, risas y aliento fueron un soporte inquebrantable durante los desafiantes momentos universitarios, siempre presentes para ofrecer su apoyo cuando más se necesitaba.

Este logro tiene una dedicatoria especial a mi enamorada Dayana, quien ha sido un apoyo constante a lo largo de mi trayecto universitario, estando siempre presente y ofreciendo su ayuda en cada momento.

Paolo Daniel Samaniego Navarrete

Dedicatoria

Este trabajo de titulación, como también toda esta carrera universitaria la quiero agradecer a mis padres quienes estuvieron conmigo apoyándome, y gracias al haber pertenecido al mundo académico, me guiaron hacia el mejor camino y motivándome a seguir aprendiendo.

A lo largo de mi trayecto académico, conocí a mucha gente como a su vez otras cuantas quedaron en el camino, pero a todas aquellas les agradezco porque cada quien aportó en mi vida de manera muy importante y de cada quien aprendí tantas cosas que me han desarrollado a la persona que soy a día de hoy.

Y su vez me dedico esto a mi mismo, porque me he demostrado día con día que puedo seguir adelante, que a pesar de los obstáculos que se han presentado he logrado levantarme y seguir adelante; seguiré adelante para continuar demostrándome que se puede llegar más lejos todavía, ya que el cielo es el límite.

Cristopher Sebastián Pesántez Mendieta

Antecedentes

El volcán Sangay, localizado en la provincia de Morona Santiago, es uno de los volcanes con mayor actividad en el país. A los pies del volcán se encuentra el río Upano, una de las fuentes hídricas más extensas de la provincia, con un recorrido que abarca 97 km. Las erupciones del volcán han resultado en la contaminación del río, que atraviesa varios cantones de la provincia, incluyendo Macas, Sucúa y Logroño, entre otros (Rostain & Saulieu, 2019). Sectores aledaños al río generan actividades de ganadería y agricultura, generando presiones antropogénicas afectando la preservación de la vida acuática y silvestre. (Javier Peña Jaramillo et al., 2014).

Se recolectaron muestras de agua en 5 puntos a lo largo del río Upano, con distancias aproximadas de 15 a 20 km entre cada uno. Estas muestras fueron sometidas a análisis tanto físico-químicos como microbiológicos en el laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

El objetivo principal de este proyecto fue llevar a cabo un análisis exhaustivo de la calidad del agua del río. Este análisis abarcó una serie de parámetros, incluyendo sólidos totales, sólidos disueltos, pH, conductividad, turbidez, nitratos, cromo hexavalente, sulfatos, dureza, alcalinidad, fósforo, coliformes totales y coliformes fecales. Los resultados de estos análisis permitieron verificar los niveles de los parámetros con las regulaciones nacionales e internacionales vigentes. Además, se calcularon los índices de calidad del agua (NSF, OWQI) y los índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS).

Problemática

La provincia de Morona Santiago ha experimentado problemas significativos de contaminación de aguas debido al proceso eruptivo del volcán Sangay, que comenzó en mayo de 2019 (Servicio Nacional de Gestión de Riesgo, 2020b).

Este proceso ha resultado en la liberación constante de material piroclástico y ceniza en los cuerpos de agua durante los últimos cuatro años. Actualmente, el volcán Sangay continúa emitiendo y derramando material volcánico, lo que ha tenido un impacto negativo en la calidad del agua y en el cauce de varios ríos de la región amazónica, en particular el río Upano. Este fenómeno ha modificado el curso natural de los ríos en varias áreas debido al arrastre de grandes cantidades de sedimentos volcánicos depositados a lo largo de los ríos, lo que plantea un peligro para las comunidades que viven en esas zonas (Instituto Geofísico - EPN, 2021).

El Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias ha declarado alerta amarilla debido a la acumulación de material en la confluencia del río Upano, lo que demuestra la continua actividad eruptiva del volcán Sangay. Además, las actividades humanas en las comunidades cercanas han contribuido al cambio en la composición del agua, lo que ha llevado a la presencia de microorganismos patógenos. Esto plantea un riesgo de toxicidad para la población, por lo que resulta fundamental evaluar la calidad de agua. Es esencial realizar análisis exhaustivos que abarquen diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos para discernir la calidad del agua del río Upano, tanto en su estado inicial como después de la contaminación.

Justificación

Dada la vital importancia de los ríos en la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres, es fundamental evaluar el deterioro y los impactos que están afectando a estos cuerpos de agua. La caída de ceniza volcánica y los flujos piroclásticos están generando daños en la salud de las personas, así como en la flora y fauna que habitan en los ecosistemas acuáticos, debido a su influencia negativa en el agua, el suelo y la vegetación circundante (Servicio Nacional de Gestión de Riesgo, 2020a).

Los efectos en las áreas cercanas al volcán son devastadores e inmediatos, especialmente cuando ocurren flujos de lava, emanaciones de gases y deposición de materiales sólidos durante procesos eruptivos intensos y con la influencia de fuertes lluvias. La ceniza volcánica y los flujos piroclásticos contienen partículas de diferentes tamaños y composiciones variables, que se convierten en medios importantes de retención y acumulación de material (Narváez Porras & Cano Valle, 2004).

Cuando los recursos hídricos se ven contaminados en un ecosistema, desencadenan cambios en todo el entorno, afectando a los seres vivos que dependen de ese medio (Pabón et al., 2020).

Por lo tanto, es esencial comprender los factores que contribuyen a la afectación de la microcuenca del río Upano. Muchas comunidades que residen en las proximidades del río dependen de este recurso para la agricultura y la ganadería. Por lo tanto, resulta crucial realizar un análisis para la evaluación de la calidad de agua y, de este modo, garantizar la preservación tanto de los ecosistemas como de la salud de las personas.

Objetivos

Objetivos generales

Evaluar la calidad del agua en la cuenca del río Upano perteneciente a la provincia de Morona Santiago-Ecuador.

Objetivos específicos

- Realizar el muestreo y toma de muestras de agua a lo largo del río Upano en los sectores de: Alto Upano, La Unión, Wapu, Santa Rosa y Macas.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para sólidos totales, pH, conductividad, turbiedad, nitratos, coliformes totales, coliformes fecales, dureza, alcalinidad y fósforo; en las muestras de agua de los diferentes puntos de muestreo
- Analizar y comparar los resultados obtenidos con la normativa ambiental y determinar la calidad del agua.
- Recomendar acciones de mejora para el manejo de la cuenca del río Upano.

Capítulo I

1 Marco teórico

1.1 Generalidades del agua

El agua es uno de los compuestos químicos cuyas propiedades han posibilitado el desarrollo de la vida en el mundo. Representa el 70% del planeta tierra, de los cuales un 97% corresponde a agua salada que se encuentran en mares y océanos, la verdadera reserva para los seres vivos corresponde solo el 3%, de los cuales se dividen en aguas subterráneas, glaciares, capas de hielo y aguas marítimas inferiores; de este remanente los lagos encierran el 0,007% y los ríos tan sólo 0,0002% del total. Sin embargo, es de donde los seres vivos se surten de la mayor parte del agua para su uso diario (Rispoli & Francisco, 2011).

El agua es una prioridad sanitaria al ser un nutriente esencial para la vida, la relación que tiene con la salud, es indudable por ser el componente más abundante del cuerpo humano, interviniendo en todos los procesos fisiológicos. Es por esto que la calidad del agua es un criterio indispensable de manejo a nivel de cuenca hidrográfica, por lo que los esfuerzos para la conservación y prevención de la contaminación son de mucha importancia (Jorge Alberto Villena Chávez, 2018).

1.1.1 Características de los ríos como fuentes comunes de agua

Las fuentes de agua consideradas según su forma de abastecimiento son tres tipos; aguas superficiales, subterráneas y aguas de lluvia. Entre las fuentes comunes existen pozos profundos, pozos poco profundos, ríos, lagos y embalses (Giraldo & Alzate, 2014). El presente proyecto se enfoca en los ríos como fuente primordial de agua.

Ríos: La calidad del agua se comporta como un sistema integrado, cada componente en el tiempo y espacio establecido interactúan en el comportamiento de los otros, es así que los constituyentes químicos del agua se determinan por diversos factores, como las condiciones hidrológicas de las cuencas que drenan, su grado de contaminación, la estación climática del año y las condiciones climáticas diarias. Para esta fuente es necesario un tratamiento más extenso que cualquier otra fuente (Formica et al., 2015).

1.2 Afluentes involucrados en el proyecto

1.2.1 Río Upano

El río Upano tiene una longitud de 97 km, con un ancho variable de 0,5 a 2 km y sus aguas desembocan en el río Namangoza. Está ubicado al pie del volcán Sangay, nace en los Andes a 4000 m de altura, recorre hacia el este, hasta formar una curva para ir hacia el sur, siguiendo un corredor delimitado al oeste por los Andes y al este por la cordillera del Cutucú (Rostain &

De Saulieu, 2019).

Las principales actividades naturales identificadas que afectan la calidad del agua en la microcuenca del río Upano, son principalmente la actividad volcánica elevada, como ceniza volcánica y flujos piroclásticos que han afectado los últimos meses al río con contenido de gases y materia inorgánica (Instituto Geofísico - EPN, 2020).

Sin embargo, las actividades antropogénicas como agricultura y ganadería, han contaminado con materia orgánica el cuerpo hídrico, mismos que se encuentran en crecimiento y pleno desarrollo.

1.2.2 Río Volcán

Nace a los pies del Volcán Sangay, producto de deshielos de nieve, glaciares acumulados en sus laderas, columnas de ceniza, generación de flujos piroclásticos y flujos de lava (Instituto Geofísico - EPN, 2023).

1.3 Contextualización: río Upano y volcán Sangay

El Volcán Sangay, ubicado en el extremo sur del arco volcánico ecuatoriano, en la provincia de Morona Santiago, es considerado el más activo de los volcanes en el país. Este volcán está localizado a una latitud de 2°00' S y una longitud de 78°20' W, se encuentra a una distancia de 45 km al sureste de Riobamba y a 40 km al Noroeste de Macas. Limita al norte y al sur con los ríos Sangay y Volcán, al este se extiende hacia la selva amazónica, mientras que al oeste el cono conecta las llanuras formadas por material piroclástico, principalmente ceniza volcánica y roca volcánica no consolidada (Instituto Geofísico - EPN, 2020).

En la actualidad la actividad sísmica es frecuente, se han evidenciado caídas de rocas volcánicas, flujos piroclásticos, emisiones de lava, cenizas y gas, dando como resultado la afectación de la calidad del agua y el lecho de varios ríos de la Amazonía, en especial del río Upano; cambiando el cauce natural en varios tramos, esto por el arrastre de grandes cantidades de sedimentos volcánicos depositados a lo largo y ancho del río, lo que constituye un peligro para las zonas de influencia. El Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) del Ecuador informa que el proceso eruptivo actual comenzó el 7 de mayo de 2019, registrando temblores y expulsiones de cenizas desde el 20 de septiembre de 2020 (Instituto Geofísico - EPN, 2020).

1.4 Flujos piroclásticos

1.4.1 Generalidades

Los materiales volcánicos incluyen los piroclastos, que son los fragmentos expulsados por una erupción volcánica en estado sólido o líquido. La rapidez que adquieren varía en función

de la proporción entre los materiales sólidos y los gases presentes. En situaciones en las que la proporción de gases es considerablemente mayor que la de sólidos, se forman las oleadas piroclásticas, las cuales logran alcanzar mayores velocidades y distancias. En ciertos casos, estas oleadas pueden superar los 100 km/h (Peter Francis & Clive Oppenheimer, 2004).

1.4.2 Composición

Los flujos piroclásticos, también conocidos como corrientes de densidad, son compuestas por una combinación de gases y material sólido, que incluye ceniza y rocas de diferentes dimensiones (Peter Francis & Clive Oppenheimer, 2004).

Estos elementos se distinguen por su nivel de acidez o la cantidad de anhídrido silícico que contienen, lo cual también controla la naturaleza de la actividad volcánica y la apariencia morfológica de sus estructuras (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

1.5 Cenizas volcánicas

1.5.1 Generalidades

La ceniza volcánica es cualquier fragmento de material volcánico sólido arrojado al aire durante una erupción al cual también se le llama piroclástico. Las partículas más grandes se depositan cerca del origen de la erupción, mientras que las finas (menor a 2mm de diámetro) suelen alcanzar mayores distancias, aunque también son variables, dependiendo principalmente de la altura de la columna eruptiva y la dirección del viento (María Victoria Cremona & Javier Ferrari, 2018).

1.6 Contaminación del agua por flujos piroclásticos y cenizas volcánicas

Los volcanes exhiben diversos patrones de erupción. Algunos generan flujos piroclásticos o emiten rocas balísticas y ceniza, que pueden caer sobre comunidades cercanas. Otros volcanes producen flujos de lava, como los que se observan en Hawái. A veces, se forman flujos de lodo, conocidos como lahares, cuando el calor del magma derrite el hielo. Además, en otras ocasiones, los flujos de lodo también se originan debido a fuertes lluvias que movilizan el sedimento volcánico en las laderas (Organización Panamericana de la Salud, 2013).

La contaminación del agua por materiales piroclásticos y cenizas volcánicas es un fenómeno que puede ocurrir después de una erupción volcánica. Las cenizas volcánicas pueden transportarse por el aire y caer sobre la superficie del agua, lo que puede afectar la calidad del agua y la vida acuática. La actividad volcánica puede representar una significativa fuente de contaminación del agua, dado que cuando los flujos volcánicos llegan a cuerpos de agua superficiales o subterráneos, los gases disueltos y las partículas sólidas arrastradas pueden impactar negativamente la calidad del agua. Esto resulta en restricciones en el suministro de

agua potable para los seres humanos y en la disponibilidad de agua para los animales (Carolina Santamaría Elola, 2021).

En investigaciones llevadas a cabo en regiones afectadas por erupciones volcánicas, se observó que los parámetros de calidad del agua más impactados son la turbidez, el pH y el incremento en la concentración de elementos que pueden ser tóxicos, esenciales para la vida y otros que pueden ser tanto tóxicos como esenciales, dependiendo de la concentración alcanzada (Carolina Santamaría Elola, 2021).

1.7 Aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces

Según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, el término agua para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces es atribuible como agua utilizada en actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies, como la pesca y la acuicultura, con la finalidad de que se pueda conservar la vida natural del ecosistema sin permitir alteraciones (TULSMA, 2015).

La “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador” establece que hay que seguir ciertos criterios de calidad para aguas utilizadas para proteger la vida silvestre y acuática que se refiere a la concentración recomendada sobre los parámetros físicos químicos y biológicos indicados dentro de la norma para que el efluente sea benéfico para todos sus posibles usos (TULSMA, 2015).

1.8 Parámetros físicos del agua

1.8.1 Sólidos totales

La expresión se utiliza para describir los restos de material que permanecen después de que una muestra se ha evaporado y se ha secado en una estufa a una temperatura específica. Los sólidos totales abarcan dos categorías: los sólidos suspendidos totales (SST), que son la parte de los sólidos totales que quedan atrapados en un filtro, y los sólidos disueltos totales (SDT), que son la porción que pasa a través del filtro. En resumen, los sólidos totales (ST) son la suma de los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos disueltos totales (SDT) (Yaneth, 2017).

Algunos parámetros, como la turbidez, el color, la temperatura del agua y los niveles de oxígeno disuelto (OD), son afectados con la presencia de sólidos en suspensión, logrando absorber calor y agotar el oxígeno, mientras que los sólidos disueltos afectan la salinidad y la conductividad del agua, haciendo un impacto negativo en los organismo acuáticos y

reduciendo la transferencia de luz al ralentizar la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Ramos Ribero, 2018).

1.8.2 Turbidez

Un parámetro que demuestra que el agua ha sufrido una afección es la turbiedad, basándose en la pérdida de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión. Por lo que las cenizas que se emiten durante las erupciones volcánicas aumentan la turbidez del agua si están en suspensión, aunque estas se irán asentando en el fondo de lagunas, ríos, entre otros; lentamente. La turbiedad es capaz de generar problemas en las plantas de tratamiento y potabilización, debido que la efectividad de los tratamientos de desinfección y filtración pueden verse ralentizados y poco eficaces (Carolina Santamaría Elola, 2021).

El límite máximo permisible según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador” dependerá de la turbiedad obtenida en la condición natural del agua (TULSMA, 2015).

1.8.3 Potencial hidrógeno

Los recubrimientos superficiales que se forman sobre la ceniza volcánica recién expulsada son altamente ácidos, como resultado de la presencia de aerosoles compuestos por ácidos minerales fuertes, como H_2SO_4 , HCl y HF, presentes en la columna volcánica. Como resultado, si la ceniza entra en contacto con el agua, es posible que el pH disminuya por debajo de los niveles recomendados para su uso como agua potable (Stewart et al., 2006).

Según la OMS, el agua que se encuentre por debajo de un pH de 6,5 es considerada no apta para el consumo humano.

1.8.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica, sus unidades son siemens por metro (S/m), permite conocer la concentración de sales en disolución provenientes de ácidos y sales presentes en el cuerpo hídrico, generando iones que por disociación son capaces de transmitir la corriente eléctrica, su valor depende de la temperatura, es decir la conductividad eléctrica está relacionada y varía en función de la temperatura del agua, sin embargo la temperatura es estandarizada a 25°C (Fonseca & Clairand, 2018).

1.8.5 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales (TDS) o también conocidos como residuo filtrable total (mg/L) son un indicador de la concentración de sustancias disueltas en el agua, tienen un tamaño

inferior a 2 micras, es la suma de todas las sustancias filtrables, como minerales, sales, metales en forma de moléculas, átomos, cationes y aniones. Generalmente los aniones inorgánicos disueltos que se pueden encontrar en el agua son carbonatos, bicarbonatos, nitratos, sulfatos, fosfatos y cloruros, además se integran los principales cationes, como calcio, magnesio, amonio, potasio, sodio, etc. Sin embargo, también es posible encontrar pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas, su estudio es utilizado para determinar principalmente la calidad de masas de agua naturales, incluidas aguas superficiales y subterráneas (W. Adam Sigler & Jim Bauder, 2015).

1.9 Parámetros químicos del agua

1.9.1 Dureza

La dureza del agua es una medida de la concentración de minerales disueltos, principalmente iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), presentes en el agua; aunque también los cationes divalentes son capaces de originar dureza (Mariana López Sánchez et al., 2005).

Al agua se le puede clasificar desde agua blanda hasta muy dura, esto va a estar ligado con la concentración (mg/l) donde 0-75 mg/l se le considera un agua blanda, 75-150 mg/l es un agua moderada, 150-300 mg/l es una agua dura y mayor a 300 mg/l se le considera un agua muy dura. La dureza tiene influencia en el sabor del agua, llegando a ser desagradable cuando llega a una concentración de 500 mg/l (Mariana López Sánchez et al., 2005).

El límite máximo permisible según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador” es de 500 mg/l (TULSMA, 2015).

1.9.2 Alcalinidad

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para resistir cambios en el pH, es decir, su capacidad para mantener un pH relativamente constante frente a la adición de ácidos o bases; ya que la alcalinidad de aguas superficiales es mayormente influenciada por la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, se utiliza como indicador de estas especies iónicas. Este parámetro también se le conoce como la capacidad buffer del agua (Torres et al., 2016).

La dureza del agua y la alcalinidad no están estrechamente vinculadas, sin embargo, debido a que la alcalinidad del agua suele ser causada por una alta concentración de carbonatos de calcio y magnesio, la dureza generalmente proporciona una buena estimación de la alcalinidad (Torres et al., 2016).

Según la literatura consultada, a nivel internacional se acepta una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO_3/L para poder mantener la vida acuática y con un valor máximo de 200 mg de

CaCO₃/L (Pérez-López, 2016).

1.9.3 Nitratos

Los nitratos son iones que están compuestos en su estructura por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y con una carga negativa (NO₃⁻), su presencia en la naturaleza es disuelta en agua, se obtiene de la degradación del nitrógeno en descomposición de materia vegetal, animal y de efluentes industriales, por lo tanto, los niveles de nitratos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad, en pequeñas concentraciones los nitratos están relacionados con el ciclo natural del nitrógeno de suelo y plantas, siendo el nutriente más importante para el desarrollo de los mismos, sin embargo pueden ser añadidos por medio de fertilizantes inorgánicos y abonos en las tierras de cultivo, que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten (Cabrera Molina et al., 2003).

Según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, los valores máximos permitidos de nitratos son de 13 mg/l para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (TULSMA, 2015).

1.9.4 Sulfatos

Los sulfatos son la forma oxidada estable del azufre, están compuestos en su estructura fundamental por los grupos (SO₄)⁻², formando sales al estar enlazados entre sí por cationes de aluminio, sodio, calcio, potasio, magnesio y hierro. Los sulfatos al ser muy solubles en agua, pueden ser reducidos a sulfitos, precipitados en sales insolubles o volatilizado a la atmósfera como H₂S (Huaccha Sanchez & Villena Lozano, 2021). La concentración en aguas naturales es mínima y pueden ser producidos por oxidación bacteriana de los compuestos azufrados reducidos, o suelen tener su origen en las aguas que atraviesen terrenos ricos en yesos, sirviendo como fuente de oxígeno a las bacterias, en condiciones anaeróbicas, sin embargo debido a la contaminación con aguas residuales industriales, los niveles elevados de sulfatos pueden producir trastornos gastrointestinales en la personas que consumen el agua (Rodríguez et al., 2010).

Según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, el límite máximo de descarga permisible a un cuerpo de agua dulce para los sulfatos es de 1000 mg/l (TULSMA, 2015).

1.9.5 Fósforo

Para la determinación del fósforo en agua, se hace mediante la medición de su partícula cargada, es decir el ión fosfato. Generalmente, el ión fosfato suele desempeñarse como un

nutriente de las algas, por lo que estas experimentan un crecimiento excesivo, lo que tiene un impacto negativo en la cantidad de oxígeno disponible en el agua. Este crecimiento descontrolado de materia orgánica viva conlleva una tasa más alta de descomposición, lo que finalmente lleva a un proceso pronunciado de eutrofización (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

La fuente principal para que este componente se encuentre en el agua, es por la descarga de efluentes al mismo por lo que se tiene un límite de descarga de 10 mg/l tanto para aguas dulces como aguas marinas, esto según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador” (TULSMA, 2015).

1.9.6 Cromo hexavalente

El cromo hexavalente, también conocido como cromo VI o Cr^{+6} , es una forma química del elemento cromo (Cr) que puede estar presente en el agua como un contaminante. Es una forma tóxica y potencialmente peligrosa del cromo para la salud humana y el medio ambiente.

El cromo hexavalente es un carcinógeno conocido, lo que significa que se ha demostrado que puede causar cáncer en seres humanos y su toxicidad depende del estado de oxidación y concentración en que se encuentre (María José López Muñoz, 2016).

Según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, el límite máximo permisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces es de 0,032 mg/l (TULSMA, 2015).

1.10 Parámetros microbiológicos del agua

1.10.1 Coliformes Totales

Los coliformes totales son bacterias con características específicas. Son bacterias Gram negativas en forma de bastón que tienen la capacidad de fermentar la lactosa a una temperatura de 35 a 37 °C, produciendo ácido y gas (CO_2) en un período de 24 horas. Estas bacterias pueden vivir en ambientes con o sin oxígeno y son negativas en la prueba de oxidasa. Además, no forman esporas y exhiben actividad enzimática de la β -galactosidasa. Entre los coliformes totales se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Larrea-Murrell et al., 2012).

La presencia de coliformes totales en el agua puede ser el resultado de diversas fuentes de contaminación, como desbordamientos de alcantarillado, aguas residuales no tratadas, infiltración de aguas residuales en fuentes de agua, escorrentía de áreas agrícolas o ganaderas, y otros eventos que puedan transportar materia fecal al agua.

Según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, el límite máximo permisible para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional es de 3000 NMP/100ml (TULSMA, 2015).

1.10.2 Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales. La *Escherichia coli* es la bacteria más representativa en esta clasificación, junto a ciertas especies de *Klebsiella* y su presencia representa el 95% del grupo de los coliformes presentes e indica contaminación fecal de origen humano o animal (Ramos Ribero, 2018). La contaminación fecal en las aguas superficiales por la transmisión de microorganismos patógenos, como bacterias, virus, protozoarios y otros parásitos, sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua y se ha convertido en una problemática que afecta directamente en la salud de los seres humanos causando enfermedades intestinales producido por la exposición directa por contacto, de piel y membranas mucosas, además de la ingesta oral, la inhalación o aspiración de microgotas de agua durante actividades de tipo recreativo (Barrantes et al., 2013).

Las heces humanas y animales a menudo contienen patógenos entéricos que ingresan al agua desde una variedad de fuentes, como plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas sépticos, ganadería, vida silvestre, actividades agrícolas, o también en zonas urbanas y rurales por el escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial (Olivas-Enriquez et al., 2011).

Según la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, el límite máximo de descarga permisible a un cuerpo de agua dulce para los coliformes fecales es de 2000 NMP/100ml (TULSMA, 2015).

1.11 Índices de calidad del agua

1.11.1 Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF)

El índice de calidad del agua NSF, creado en 1970 en los Estados Unidos por la National Sanitation Foundation (NSF), se desarrolló mediante la técnica de investigación Delphi. Este método implicó la definición de parámetros, pesos ponderados, subíndices y categorías utilizados en el cálculo. Se evaluaron nueve parámetros en total, que incluyen Oxígeno Disuelto, Potencial de hidrógeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Coliformes Fecales, Temperatura, Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales y Fosfatos (Alarcón Corro, 2019).

1.11.2 Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI)

El Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI) se deriva del ICA – NSF utilizando el método Delphi, combina ocho parámetros para evaluar la calidad general del agua en ríos y corrientes de Oregon y otras áreas geográficas. Este índice integra parámetros tales como Temperatura, Oxígeno Disuelto (Porcentaje de Saturación y Concentración), DQO, pH, Sólidos Totales, Amonio y Nitratos, Fósforo Total y Coliformes Fecales. Con el propósito de ofrecer una perspectiva general de la calidad del agua y analizar los efectos de las fuentes de contaminación bajo diversas condiciones (Alarcón Corro, 2019).

1.12 Índices de contaminación del agua

1.12.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

El índice de contaminación por mineralización (ICOMI) agrupa tres mediciones clave: la conductividad, que muestra la cantidad de sólidos disueltos en el agua; la dureza, que se relaciona con la concentración de cationes de calcio y magnesio; y la alcalinidad, que se expresa a través de los aniones de carbono y bicarbonato. Este índice se establece en una escala del 0 al 1, donde valores cercanos a cero señalan una baja presencia de contaminación debido a la mineralización, mientras que aquellos próximos a uno indican una alta contaminación por mineralización (Cañas Arias, 2014).

1.12.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

El índice de contaminación por materia orgánica se calcula mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), coliformes totales y el porcentaje de saturación de oxígeno. Este índice se establece en una escala de 0 a 1, donde el aumento desde el valor más bajo indica un incremento en la contaminación del cuerpo de agua (Cañas Arias, 2014).

1.12.3 Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se basa en la medición de la concentración de estos sólidos en suspensión en una solución, este factor guarda una estrecha relación con la presencia de compuestos inorgánicos que generan contaminación. Este índice se establece en una escala del 0 al 1, donde valores cercanos a cero señalan una baja presencia de contaminación debido a la cantidad de sólidos, mientras que aquellos próximos a uno indican una alta contaminación por sólidos (Cañas Arias, 2014).

Capítulo II

2 Metodología

2.1 Tipo y diseño de investigación

Observacional descriptivo de corte transversal, este diseño se basa en la recopilación, análisis y estudio de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados mediante la extracción de muestras representativas para determinar la calidad del agua en el río Upano en la provincia de Morona Santiago.

Se escogieron 5 puntos a lo largo del río, los mismos que se los reconoce como Alto Upano (M1), Unión Río Volcán y Río Upano (M2), Sector Wapu (M3), Santa Rosa (M4) y Macas (M5). Los puntos de muestreo se encuentran distanciadas aproximadamente 5 a 10km entre sí. Estos fueron escogidos debido a que en el punto M1 se interpreta un lugar sin contaminación, considerándolo como punto blanco, debido a un análisis observacional de la zona y a partir del punto M2 en adelante existe un cambio en su composición, además en los puntos M3, M4 y M5 son zonas cercanas a comunidades pobladas, siendo sitios de interés para evaluar la calidad del agua.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en las muestras de agua de los diferentes puntos de muestreo fueron sólidos totales, sólidos disueltos, pH, conductividad, turbiedad, nitratos, sulfatos, coliformes totales, coliformes fecales, dureza, alcalinidad, cromo hexavalente y fósforo.

2.2 Métodos para la recolección de datos

2.2.1 Área de estudio

Para este estudio se delimitó un tramo de la microcuenca del río Upano, que se encuentra ubicado en la provincia de Morona Santiago-Ecuador. Las muestras fueron recolectadas y llevadas al laboratorio de análisis de aguas en el campus de Balzay de la Universidad de Cuenca.

2.2.2 Muestreo

Se realizó un muestreo puntual no probabilístico el cual representa la calidad del agua en el tiempo y en el lugar que fue tomado por conveniencia (TULSMA, 2015), siendo este caso el río Upano en estación seca durante 5 semanas consecutivas, el muestreo se efectuó los días viernes, sábados y domingos. Los puntos de muestreo se seleccionaron teniendo en cuenta la facilidad de acceso debido a que la zona presenta un relieve irregular y peligroso, siguiendo las definiciones establecidas por la norma INEN 2176-2013.

Con el fin de evitar la contaminación de las muestras, siguiendo lo estipulado por la norma INEN 1105-1983 se realizó el muestreo en lugares alejados de la orilla del río y a una profundidad de 20 cm. Estas muestras se almacenaron en recipientes estériles de polietileno, debidamente etiquetados y se conservaron a una temperatura de 4°C. Se realizaron análisis de parámetros físico-químicos de acuerdo con lo establecido por la norma INEN 2176-2013 (INEN, 2013b) y de la misma manera, análisis microbiológicos, tal como lo indica la norma INEN-ISO 19458-2014 (INEN, 2014b).

Posteriormente, las muestras se transportaron al laboratorio en un ambiente fresco y protegidas de la luz, siguiendo lo establecido por la norma INEN 2169:2013, para ser analizadas de forma inmediata. (INEN, 2013a)

2.2.3 Toma de Muestra

De acuerdo a las especificaciones de la norma Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 se tomó un mínimo de 1 litro de muestra para los análisis físico-químicos en recipientes de 125 ml para los análisis microbiológicos, en envases de polietileno, las mismas que fueron conservadas y transportadas a una temperatura de 4°C en cajas térmicas (Coolers) (INEN, 2013).

2.2.4 Puntos de Muestreo

Se analizaron cinco puntos de muestreo, los cuales conforman la red de transición de la microcuenca del río Upano. En la tabla 1 y figura 1 se exponen los puntos de muestreo y en la tabla 2 las fechas en las cuales fueron realizados los muestreos.

Tabla 1. Puntos de muestreo de la transición del Río Upano

MUESTRA	NOMBRE DEL SITIO	COORDENADAS	
		X	Y
M1	Alto Upano	-2.1341973	-78.1148724
M2	Unión Río Volcán y Río Upano	-2.149703	-78.100184
M3	Sector Wapu	-2.1514919	-78.0994835
M4	Sector Santa Rosa	-2.2003898	-78.0889907
M5	Puente sobre el Río Upano	-2.300913	-78.104365

Fuente. Elaboración Autor – Adaptado de Google Earth 2023



Figura 1. Mapa de la ubicación de los puntos de muestreo.

Nota. Adaptada de Google Earth 2023

Tabla 2. Cronograma para semanas de muestreo.

Semanas	Fechas
Semana 1 (S1)	24/06/2023
Semana 2 (S2)	01/07/2023
Semana 3 (S3)	08/07/2023
Semana 4 (S4)	15/07/2023
Semana 5 (S5)	22/07/2023

Fuente. Elaboración Autor



Figura 2. Toma de muestras en Alto Upano.



Figura 3. Toma de muestras en Alto Upano.



Figura 4. Toma de muestras en el punto 2.



Figura 5. Toma de muestras en el punto 2.



Figura 6. Toma de muestras en el Sector Wapu. Figura 7. Toma de muestras en punto 3.



Figura 8. Toma de muestras en Sector Santa Rosa. Figura 9. Toma de muestras en punto 4.



Figura 10. Toma de muestras Puente de Macas. Figura 11. Toma de muestras en punto 5.

2.3 Materiales, Reactivos y Equipos

Tabla 3. Materiales, reactivos y equipos utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Materiales	Reactivos	Equipos
Matraz Erlenmeyer	Muestra de aguas	Estufa
Pipetas volumétricas	Reactivo HACH	Equipo de filtración de membrana
Recipientes para toma de muestra	Agua Destilada	Computadora
Piseta	Indicador naranja de metilo	Centrifugadora
Pinza	Patrones para color D0UC	Conductímetro HACH
Probetas	Solución Buffer	pH-metro HACH
Vasos de precipitación	Indicador negro de ericromo-T	Turbidímetro HACH
Varilla de Vidrio	EDTA 0,02N	

Bureta	Sulfuro de Sodio 3-4%	
Celda para Muestra		

Fuente. Elaboración Autor

2.4 Métodos, procedimientos y técnicas para determinación de análisis físico-químico y microbiológico

2.4.1 Parámetros Físicos

2.4.1.1 Sólidos totales

La determinación de los sólidos totales se realizó utilizando el método de análisis gravimétrico, que implicó la evaporación de las muestras de agua previamente homogeneizadas en un vaso, seguido de un proceso de secado en un horno a una temperatura constante de 110°C hasta que alcance un peso constante, el aumento de peso sobre el recipiente vacío representa la cantidad total de sólidos (Myriam Chacon, 2016).

Procedimiento:

1. Se registró el peso del vaso limpio y seco (A).
2. Se agregaron 100 ml de muestra de agua en el vaso.
3. Se colocó el vaso en una estufa y se secó a una temperatura de 110°C hasta que se obtuvo un peso constante del vaso.
4. Luego se trasladaron los recipientes a un desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente.
5. Se registró el peso del vaso con los sólidos secos (B).
6. La cantidad de sólidos totales se determinó como la diferencia entre los pesos del vaso (B) y (A).



Figura 12. Análisis de Sólidos totales

2.4.1.2 Alcalinidad

La alcalinidad del agua se determinó utilizando el método de la tira reactiva de la compañía Hach, expresada en partes por millón, de todos los compuestos alcalinos, que incluyen los iones de carbonato, bicarbonato e hidróxido que estuvieron presentes en la muestra de agua. Se introdujo la tira en la muestra para posteriormente compararla con los colores impresos en el envase y realizar la lectura para obtener el resultado (Hach, 2020).

Procedimiento:

1. Se colocaron 40 ml de la muestra de agua que se deseaba analizar en un vaso de precipitación.
2. Se introdujo una tira reactiva Hach en la muestra durante al menos 5 segundos.
3. Se compararon los colores resultantes en la tira reactiva con los colores impresos en la botella para realizar la lectura.
4. Los resultados se evaluaron de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015).



Figura 13. Análisis de Alcalinidad

2.4.1.3 Conductividad

La determinación de la conductividad se realizó utilizando el método descrito por la compañía Hach, el cual se basa en la creación de una discrepancia de potencial eléctrico entre dos electrodos inmersos en el agua, y la disminución en dicho potencial dió como resultado la resistencia de las muestras de agua (Hach, 2020).

Procedimiento

1. Se lavó cuidadosamente el electrodo del conductímetro HACH utilizando agua destilada.
2. Se sumergió el electrodo del conductímetro en la muestra de agua.
3. Se mantuvo presionado el botón LEER hasta que el equipo se estabilizó y mostró el valor de conductividad de la muestra en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
4. Se registró y analizó el resultado.



Figura 14. Análisis de Conductividad

2.4.1.4 Dureza

La dureza del agua se determinó utilizando el método de la tira reactiva de la compañía Hach, expresada en partes por millón, de todos los iones de calcio y magnesio que estuvieron presentes en la muestra de agua. Se introdujo la tira en la muestra para posteriormente compararla con los colores impresos en el envase y realizar la lectura para obtener el resultado (Hach, 2020).

Procedimiento:

1. Se colocaron 40 ml de la muestra de agua que se deseaba analizar en un vaso de precipitación.
2. Se introdujo una tira reactiva Hach en la muestra durante al menos 5 segundos y se retiró de la misma.
3. Se compararon los colores resultantes en la tira reactiva con los colores impresos en la botella para realizar la lectura.
4. Los resultados se evaluaron de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015).



Figura 15. Análisis de Dureza

2.4.1.5 pH

La determinación del pH se realizó llevando a cabo una medición electrónica utilizando un electrodo en un entorno acuoso. Esta medición cuantificó el estado de equilibrio ácido-base alcanzado por diferentes sustancias disueltas, siendo este el caso de muestras de aguas naturales, dicho equilibrio estuvo regulado por la interacción entre el dióxido de carbono y el bicarbonato, de acuerdo con las pautas establecidas en la normativa INEN 10523 de 2014 (INEN, 2014a).

Procedimiento

1. Se colocó la muestra de agua en un vaso de precipitación.
2. Se verificó el equipo con patrones de pH de 4, 7 y 10.
3. Se sumergió el electrodo del medidor de pH en el vaso de precipitación que contenía la muestra.
4. Se llevó a cabo una leve agitación y se esperó hasta que el pH-metro se estabilizó.
5. Se registró y analizó el resultado de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana para la Calidad del Agua.



Figura 16. Análisis de pH

2.4.1.6 Sólidos totales disueltos

La determinación de los sólidos totales disueltos se realizó utilizando el método descrito por la compañía Hach, el cual se basa en la creación de una discrepancia de potencial eléctrico entre dos electrodos inmersos en el agua, y la disminución en dicho potencial dió como resultado la resistencia de las muestras de agua. Los sólidos disueltos totales presentes en el agua engloban una serie de iones, como el sodio, el potasio, el cloro, el magnesio, nitritos, cloruros y diversos compuestos inorgánicos, entre otros, según lo indicado por Hach (Hach, 2020a).

Procedimiento:

1. Se realizó una limpieza del electrodo utilizando agua destilada.
2. Se sumergió suavemente el electrodo del equipo Hach en la muestra de agua y se agitó cuidadosamente.
3. Se mantuvo presionado el botón LEER hasta que el equipo mostró el valor de la conductividad de la muestra en miligramos por litro (mg/l), una vez que este valor se mantuvo constante.
4. Se registró la lectura y se procedió a evaluar el resultado.



Figura 17. Análisis de Sólidos Totales Disueltos

2.4.1.7 Turbidez

La turbidez del agua se determinó utilizando el turbidímetro de la compañía Hach, se basó en la comparación entre la cantidad de luz dispersa por una suspensión estándar de referencia en condiciones específicas y la cantidad de luz dispersa por la muestra. La relación entre la intensidad de la luz dispersada y la turbidez es proporcional, utilizando un enfoque nefelométrico (Hach, 2020b). La unidad de medida empleada es la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU), según lo establecido en la normativa INEN 7027 de 2013 (INEN, 2013c).

Procedimiento

1. Se realizó la calibración del dispositivo.
2. Se completó la celda con la muestra de agua y se selló el recipiente.
3. Se insertó la celda en el dispositivo y se cerró la cubierta.
4. Se pulsó el botón "ENTER" y se tomó la lectura basada en el color de la muestra.
5. Se evaluaron los resultados de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015).



Figura 18. Análisis de Turbidez

2.4.2 Parámetros Químicos

2.4.2.1 Nitratos

Los nitratos en el agua se determinaron utilizando el equipo DR2800 de la compañía Hach, se realizó agregando el reactivo NitraVer 5, en él se produjo una reducción con cadmio, el cadmio en forma metálica provocó la conversión de los nitratos existentes en la muestra en nitritos. Los iones nitrito, en un entorno ácido, interactúan con el ácido sulfanílico que generó una sal de diazonio intermedia, la cual se unió al ácido gentísico, dando lugar a la formación de un complejo de color ambarino, el resultado fue medible por el equipo en base a la intensidad de la coloración producida por la reacción en comparación del blanco (HACH, 2019).

Procedimiento

1. Se ajustó la configuración del dispositivo.
2. Se seleccionó el programa destinado a la determinación de nitratos y se presionó el botón "SELECCIONAR".
3. Se vertió una cantidad de muestra de agua, equivalente a 10 ml, en la celda de medición.
4. En la celda de medición, se agregó el reactivo NitraVer 5 Nitrate, se realizó una inversión constante y se esperó durante un minuto para la reacción, luego se dejó reposar durante cinco minutos.

5. Se completó la celda de referencia con 10 ml del blanco, se insertó la celda en el dispositivo y se seleccionó la opción "ZERO" para obtener una lectura de 0 mg/l.
6. Se retiró la celda de referencia y se colocó la celda con la muestra en el equipo, se presionó "SELECCIONAR" y se obtuvo la lectura de la concentración de nitratos en la muestra, expresada en mg/l.
7. Se evaluaron los resultados de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015).



Figura 19. Análisis de Nitratos

2.4.2.2 Sulfatos

Los sulfatos en el agua se determinaron utilizando el equipo DR2800 de la compañía Hach, se realizó agregando el reactivo SulfaVer 4, su determinación se produjo en base a la reacción de los iones sulfato presentes en la muestra con el bario en el reactivo SulfaVer 4, formando un precipitado de sulfato de bario, la cantidad de turbidez formada es proporcional a la concentración de sulfato, el resultado fue medible por el equipo en base a la intensidad de la coloración producida por la reacción en comparación del blanco (HACH, 2019).

Procedimiento

1. Se ajustó la configuración del dispositivo.
2. Se seleccionó el programa destinado a la determinación de sulfatos y se presionó el botón "SELECCIONAR".

3. Se vertió una cantidad de muestra de agua, equivalente a 10 ml, en la celda de medición.
4. En la celda de medición, se agregó el reactivo SulfaVer 4, se realizó una inversión constante y se aguardó durante un minuto para la reacción, luego se dejó reposar durante cinco minutos.
5. Se completó la celda de referencia con 10 ml del blanco, se insertó la celda en el dispositivo y se seleccionó la opción "ZERO" para obtener una lectura de 0 mg/l.
6. Se retiró la celda de referencia y se colocó la celda con la muestra en el equipo, se presionó "SELECCIONAR" y se obtuvo la lectura de la concentración de sulfatos en la muestra, expresada en mg/l.
7. Se evaluaron los resultados de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015).



Figura 20. Análisis de Sulfatos

2.4.2.3 Fósforo

El fósforo en el agua se determinó utilizando el equipo DR2800 de la compañía Hach, se realizó agregando el reactivo PhosVer 3 Phosphate, su determinación se produjo en base a la reacción con ácido ascórbico, cuando el ortofosfato se encontró en un entorno ácido, interactuó con el molibdato para formar un compuesto llamado fosfomolibdato. Este compuesto, a su vez, adquirió un color azul intenso como resultado de la reducción causada por el ácido ascórbico, el resultado fue medible por el equipo en base a la intensidad de la coloración producida por la reacción en comparación del blanco (HACH, 2020).

Procedimiento:

1. Se inició calibrando el dispositivo.
2. Se seleccionó el programa de análisis de fósforo y se presionó la opción "SELECCIONAR".
3. Se llenó la celda con la muestra de agua hasta alcanzar un volumen de 10 ml.
4. Se agitó la celda con PhosVer 3 Phosphate durante 15 segundos y se esperó 2 minutos para permitir que se desarrollara una reacción, lo que resultó en un color azul intenso.
5. Se llenó la celda con el blanco hasta alcanzar 10 ml, se insertó la celda en el dispositivo y se seleccionó la opción "ZERO" para obtener una lectura de 0 mg/l.
6. Se retiró el blanco y se colocó la muestra en el dispositivo. Se presionó "SELECCIONAR" y se realizó la medición de la concentración de fósforo en la muestra en mg/l.
7. Se evaluaron los resultados de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).



Figura 21. Análisis de Fósforo

2.4.2.4 Cromo hexavalente

El Cromo en el agua se determinó utilizando el equipo DR2800 de la compañía Hach, se realizó agregando el reactivo ChromaVer 3, su determinación se produjo mediante el método de 1,5-Difenilcarbohidrazida, el reactivo de Cromo ChromaVer 3 contenía un tampón ácido que combinado con el 1,5-Difenilcarbohidrazida reacciona con los iones de cromo hexavalente de la muestra de agua produciendo un color morado, el resultado fue medible por el equipo en base a la intensidad de la coloración producida por la reacción en comparación del blanco (HACH, 2019).

Procedimiento

1. Se ajustó la configuración del dispositivo.
2. Se seleccionó el programa destinado a la determinación de cromo hexavalente y se presionó el botón "SELECCIONAR".
3. Se vertió una cantidad de muestra de agua, equivalente a 10 ml, en la celda de medición.
4. En la celda de medición, se agregó el reactivo ChromaVer 3, se realizó una inversión constante y se aguardó durante un minuto para la reacción, luego se dejó reposar durante cinco minutos.
5. Se completó la celda de referencia con 10 ml del blanco, se insertó la celda en el dispositivo y se seleccionó la opción "ZERO" para obtener una lectura de 0 mg/l.
6. Se retiró la celda de referencia y se colocó la celda con la muestra en el equipo, se presionó "SELECCIONAR" y se obtuvo la lectura de la concentración de sulfatos en la muestra, expresada en mg/l.
7. Se evaluaron los resultados de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).



Figura 22. Análisis de Cromo Hexavalente

2.4.3 Parámetros Microbiológicos

2.4.3.1 Coliformes Totales y fecales

La presencia de coliformes en la muestra de agua se identificó mediante la técnica del número más probable (NMP) recomendado por la INEN 1108:2020, en el cual se utilizaron tubos de ensayo con medio de cultivo apto para la diferenciación de coliformes y su observación por el cambio de color, para ello se realizó un caldo de cultivo, este medio fue preparado para el desarrollo y estudio de las bacterias gram negativas en un tiempo mínimo de 24 horas (INEN, 2020).

Procedimiento

1. Se disolvieron 35,6 gramos de medio de cultivo seco granulado en un litro de agua destilada.
2. Se colocaron en tubos que contenían tubos de Durham.
3. Se distribuyeron 9 cm³ en tubos de tapa roscada.
4. Se esterilizaron a 121 °C a 1,2 atm de presión.
5. Se dejaron enfriar y se realizó la determinación mediante la técnica NMP.
6. Se utilizaron 9 tubos de ensayo, cada uno de los cuales contenía 10 ml de cultivo.
7. Se añadieron 10 ml, 1 ml y 0,1 ml de la muestra a los tubos.

8. Una vez sembradas las muestras, se cerraron los frascos utilizando las tapas roscadas.
9. Se etiquetaron los tubos de ensayo.
10. Se incubaron las muestras con los tubos durante 24-48 horas a $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
11. Se realizó la lectura de los tubos de ensayo de forma visual y bajo la lámpara ultravioleta.
12. Se determinó la presencia de Coliformes Totales positivos mediante el análisis visual por una coloración blanca turbia y para coliformes fecales positivos se observó mediante el reactivo de Ehrlich.
13. Si el cultivo daba negativo, no se observaba ni coloración rojiza ni fluorescencia, y tenía un color nítido e igual a la muestra original sin muestra sembrada.
14. Se evaluaron los resultados de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).



Figura 23. Análisis de Coliformes Totales y Fecales.

2.5 Análisis estadístico y numérico

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se obtuvieron en las muestras de agua se analizaron mediante el software IBM SPSS Statistics, la herramienta de Excel e ICATEST para detectar diferencias estadísticas entre los análisis.

Capítulo III

3 Resultados

A continuación, en las tablas 4, 5, 6, 7 y 8 se detallan los resultados obtenidos de los distintos parámetros evaluados.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la semana 1 en los 5 puntos de muestreo.

Parámetros	Unidades	M1	M2	M3	M4	M5	Valor Referencial
Sólidos Totales	ppm	30	2260	420	2000	57240	10% Max de cond. natural
Turbiedad	NTU	6,7	946	306	1060	12500	5% Max de cond. natural
pH	-	6,1	6,5	6,8	6,6	6,7	6 a 9
Temperatura	°C	12,9	14,8	14,5	13	16,4	Condición Natural +/- 3
Conductividad	us	46	118	104	100	166	N.N.
Sólidos Disueltos	ppm	24	59	53	50	84	500
Dureza	ppm	25,00	50,00	50,00	50,00	120,00	500
Alcalinidad	ppm CaCO ₃	35	40	40	40	70	N.N.
Nitratos	mg/L	0,2	0	0,2	4,3	2,7	13
Sulfatos	mg/L	6	0	10	2	10	400
Fósforo	mg/L	0,43	0,26	0,06	0,36	0,29	N.N.
Cromo Hexavalente	mg/L	0,08	0	0,085	0,073	0	0,05
Coliformes Totales	NMP	21000	37000	2300	-	1200	3000
Coliformes Fecales	NMP	7000	<3	700	-	230	2000

Fuente. Elaboración Autor

Tabla 5. Resultados obtenidos de la semana 2 en los 5 puntos de muestreo.

Parámetros	Unidades	M1-S2	M2-S2	M3-S2	M4-S2	M5-S2	Valor Referencial
Sólidos Totales	ppm	10	1900	2060	2860	3450	10% Max de cond. natural
Turbiedad	NTU	30,5	1460	1840	1030	1810	100
pH	-	6,55	6,65	6,55	6,36	6,58	6 a 9
Temperatura	°C	11,7	12,9	13,5	13,7	13,4	Condición Natural +/- 3
Conductividad	us	30	50	48	48	46	N.N.
Sólidos Disueltos	ppm	15	24	23	24	23	500
Dureza	ppm	25,00	30,00	30,00	25,00	25,00	500
Alcalinidad	ppm CaCO ₃	30	30	30	30	30	N.N.
Nitratos	mg/L	0,1	0,2	0	0,7	0,2	10
Sulfatos	mg/L	2	3	1	1	1	400
Fósforo	mg/L	0,02	0,11	0,12	0,09	0,15	N.N.
Cromo Hexavalente	mg/L	0,019	0,009	0,016	0,019	0,007	0,05
Coliformes Totales	NMP	620	620	350	-	290000	3000
Coliformes Fecales	NMP	90	90	40	-	40000	2000

Fuente. Elaboración Autor

Tabla 6. Resultados obtenidos de la semana 3 en los 5 puntos de muestreo.

Parámetros	Unidades	M1-S3	M2-S3	M3-S3	M4-S3	M5-S3	Valor Referencial
Sólidos Totales	ppm	70	4320	4690	4720	5790	10% Max de cond. natural
Turbiedad	NTU	3,96	1970	2880	2890	3420	100
pH	-	6,3	6,4	6,54	6,6	6,7	6 a 9
Temperatura	°C	13	12,8	13,5	13,8	13,4	Condición Natural +/- 3
Conductividad	us	42	60	56	52	54	N.N.

Sólidos Disueltos	ppm	21	30	39	26	27	500
Dureza	ppm	25,00	35,00	25,00	25,00	30,00	500
Alcalinidad	ppm CaCO ₃	30	30	35	40	30	N.N.
Nitratos	mg/L	0	1,1	0,3	1	0	10
Sulfatos	mg/L	3	1	2	1	1	400
Fósforo	mg/L	0,05	0,05	0,13	0,13	0,09	N.N.
Cromo Hexavalente	mg/L	0	0	0,068	0	0,01	0,05
Coliformes Totales	NMP	2300	2300	290000	36000	65000	3000
Coliformes Fecales	NMP	230	230	40000	7000	14000	2000

Fuente. Elaboración Autor

Tabla 7. Resultados obtenidos de la semana 4 en los 5 puntos de muestreo.

Parámetros	Unidades	M1-S4	M2-S4	M3-S4	M4-S4	M5-S4	Valor Referencial
Sólidos Totales	ppm	90	1400	410	1900	2710	10% Max de cond. natural
Turbiedad	NTU	7	890	461	1280	1160	100
pH	-	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6 a 9
Temperatura	°C	13	12,8	13,5	13,8	13,4	Condición Natural +/- 3
Conductividad	us	36	72	78	76	68	N.N.
Sólidos Disueltos	ppm	18	36	39	38	34	500
Dureza	ppm	30,00	35,00	35,00	40,00	30,00	500
Alcalinidad	ppm CaCO ₃	30	30	30	35	30	N.N.
Nitratos	mg/L	0,3	0,8	0,1	0,4	0,3	10
Sulfatos	mg/L	1	2	2	2	2	400
Fósforo	mg/L	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04	N.N.
Cromo Hexavalente	mg/L	0,001	0,007	0,016	0	0,073	0,05

Coliformes Totales	NMP	350	4400	-	65000	290000	3000
Coliformes Fecales	NMP	40	700	-	14000	40000	2000

Fuente. Elaboración Autor

Tabla 8. Resultados obtenidos de la semana 5 en los 5 puntos de muestreo.

Parámetros	Unidades	M1-S5	M2-S5	M3-S5	M4-S5	M5-S5	Valor Referencial
Sólidos Totales	ppm	20	12080	8750	9120	6840	10% Max de cond. natural
Turbiedad	NTU	20	5630	6120	3660	4080	100
pH	-	6,5	6,5	6,6	6,7	6,7	6 a 9
Temperatura	°C	13,5	13,5	13,8	13,4	13,4	Condición Natural +/- 3
Conductividad	us	26	76	76	68	60	N.N.
Sólidos Disueltos	ppm	12	38	38	33	30	500
Dureza	ppm	30,00	40,00	30,00	30,00	30,00	500
Alcalinidad	ppm CaCO ₃	30	30	30	30	30	N.N.
Nitratos	mg/L	0	0,8	0,2	0,4	0	10
Sulfatos	mg/L	0	2	3	3	2	400
Fósforo	mg/L	0,05	0,17	0,1	0,14	0,15	N.N.
Cromo Hexavalente	mg/L	0	0	0,006	0,019	0,003	0,05
Coliformes Totales	NMP	-	620	270	65000	2300	3000
Coliformes Fecales	NMP	-	<3	<2	14000	230	2000

Fuente. Elaboración Autor

3.1 Análisis de Resultados

3.1.1 Análisis por medio del software IBM SPSS Statistics

3.1.1.1 Prueba de normalidad – Test de Shapiro Wilk

Se llevó a cabo una prueba de normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk. Este test se utilizó para determinar si se debe realizar un análisis paramétrico o no paramétrico. En este contexto, se enfocó en el valor de Sig. Asintótica, el cual indica si los datos cumplen con el supuesto de normalidad. Específicamente, un valor de Sig. menor a 0,05 sugiere un análisis no paramétrico, mientras que un valor superior a 0,05 sugiere un análisis paramétrico. Los resultados de las pruebas de normalidad se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Prueba de normalidad Shapiro Wilk	
Parámetros	Sig. Asintótica
Sólidos totales	<0,001
Turbidez	<0,001
pH	0,039
Conductividad	0,004
Sólidos disueltos	0,007
Dureza	<0,001
Alcalinidad	<0,001
Nitratos	<0,001
Sulfatos	<0,001
Fósforo	<0,001
Cromo hexavalente	<0,001
Coliformes totales	<0,001
Coliformes fecales	<0,001

Fuente. Elaboración Autor – Adaptado de IBM SPSS Statistics

Como se muestra en la tabla 9, los valores de Sig. Asintótica son menores a 0,05. Además, al tratarse con un total de 25 muestras, siendo menor a 100 muestras, cumpliendo así los dos supuestos, por lo que se llega a la conclusión que se debe tratar los datos por medio de un análisis no paramétrico.

3.1.1.2 Prueba no paramétrica - H de Kruskal Wallis

A partir de los datos, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis para determinar posibles diferencias significativas de los 13 parámetros analizados entre los puntos de muestreo. Los resultados de esta prueba se detallan en la tabla 10 que está a continuación.

Tabla 10. Resultados de prueba H de Kruskal Wallis

Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis	
Parámetros	Sig. Asintótica
Sólidos totales	0,009
Turbidez	0,012
pH	0,010
Conductividad	0,019
Sólidos disueltos	0,027
Dureza	0,184
Alcalinidad	0,646
Nitratos	0,056
Sulfatos	0,881
Fósforo	0,496
Cromo hexavalente	0,295
Coliformes totales	0,314
Coliformes fecales	0,303

Fuente. Elaboración Autor – Adaptado de IBM SPSS Statistics

Tras llevar a cabo la prueba de Kruskal-Wallis, se determinó que hay diferencias significativas en 5 parámetros entre los cinco puntos de muestreo. Estos parámetros son Sólidos totales, Turbidez, pH, Conductividad y Sólidos Disueltos. La razón de estas diferencias radica en que el valor de Sig. Asintótica para estos parámetros es menor a 0,05. Por consiguiente, se concluye que existen diferencias significativas.

En consecuencia, se procedió a realizar una prueba de U de Mann-Whitney para determinar cuáles son los puntos que presentan mayores diferencias entre sí.

3.1.1.3 Prueba de U de Mann-Whitney

Después de identificar los parámetros con diferencias significativas, se llevó a cabo la prueba U de Mann-Whitney. Esta prueba permitió determinar si existe una diferencia significativa entre dos puntos de muestreo utilizando sus medias. Dado que en la prueba anterior se identificaron diferencias entre los cinco puntos, ahora se agruparán de dos en dos para identificar específicamente cuáles tienen diferencias. Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 11 a continuación.

Tabla 11. Resultados de prueba Mann-Whitney

Prueba de Mann-Whitney										
Parámetros	Sig. Asintótica entre dos puntos de muestreo									
	1 y 2	1 y 3	1 y 4	1 y 5	2 y 3	2 y 4	2 y 5	3 y 4	3 y 5	4 y 5
Sólidos totales	0,00 9	0,00 9	0,00 9	0,00 9	0,60 2	0,67 5	0,17 5	0,46 5	0,17 5	0,25 1
Turbidez	0,00 9	0,00 9	0,00 9	0,00 9	0,91 7	0,75 4	0,25 1	0,75 4	0,34 7	0,17 5
pH	0,24 2	0,11 4	0,02 6	0,00 7	0,59 6	0,33 8	0,01 3	0,13 1	0,01 3	0,14 2
Conductividad	0,00 9	0,00 9	0,00 9	0,01 2	1,00 0	0,67 5	0,53 0	0,59 9	0,60 2	0,83 4
Sólidos disueltos	0,01 2	0,01 6	0,01 2	0,01 6	0,54 8	0,75 3	0,53 0	0,40 1	0,40 1	0,91 7

Fuente. Elaboración Autor – Adaptado de IBM SPSS Statistics

Después de realizar la prueba de Mann-Whitney, se pudo determinar la presencia de diferencias significativas entre dos puntos de muestreo en los 5 parámetros analizados: Sólidos totales, turbidez, pH, conductividad y sólidos disueltos. Estas diferencias se observan al comparar los valores de los puntos de muestreo con el punto 1 (Alto Upano) de referencia. De la misma manera, cuando se comparan los puntos de muestreo desde el punto 2 (Unión río Volcán y río Upano) en adelante, no se encuentran diferencias significativas en ninguno de los parámetros evaluados. Sin embargo, al realizar la comparación con el punto 1, se evidencia una diferencia significativa en los 5 parámetros mencionados. La razón de estas diferencias significativas radica en que el valor de Sig. Asintótica para estos parámetros al realizar la comparación con el punto 1 es menor a 0,05. En consecuencia, se infiere que las diferencias significativas identificadas en las muestras comparadas con el punto 1 se deben

a que este punto representa el agua del río Upano en su condición natural, es decir, antes de su unión con el río Volcán, es por ello que a partir del punto 2 en adelante, atribuible a esta unión se observa un aumento en la concentración de los parámetros mencionados previamente.

3.1.2 Análisis por medio de Microsoft Excel

3.1.2.1 Sólidos Totales (10% max de la condición natural)

Se realizó un promedio de los resultados de todas las semanas del punto 1 el cual se consideró como la condición natural para las demás muestras. El valor que se obtuvo del límite permisible fue de 48,4 mg/l en base a la normativa TULSMA (2015) que indica que se debe considerar el 10% máximo de la condición natural de la fuente hídrica el cual sirvió como referencia para evaluar los resultados durante el transcurso de las 5 semanas en los 5 puntos.

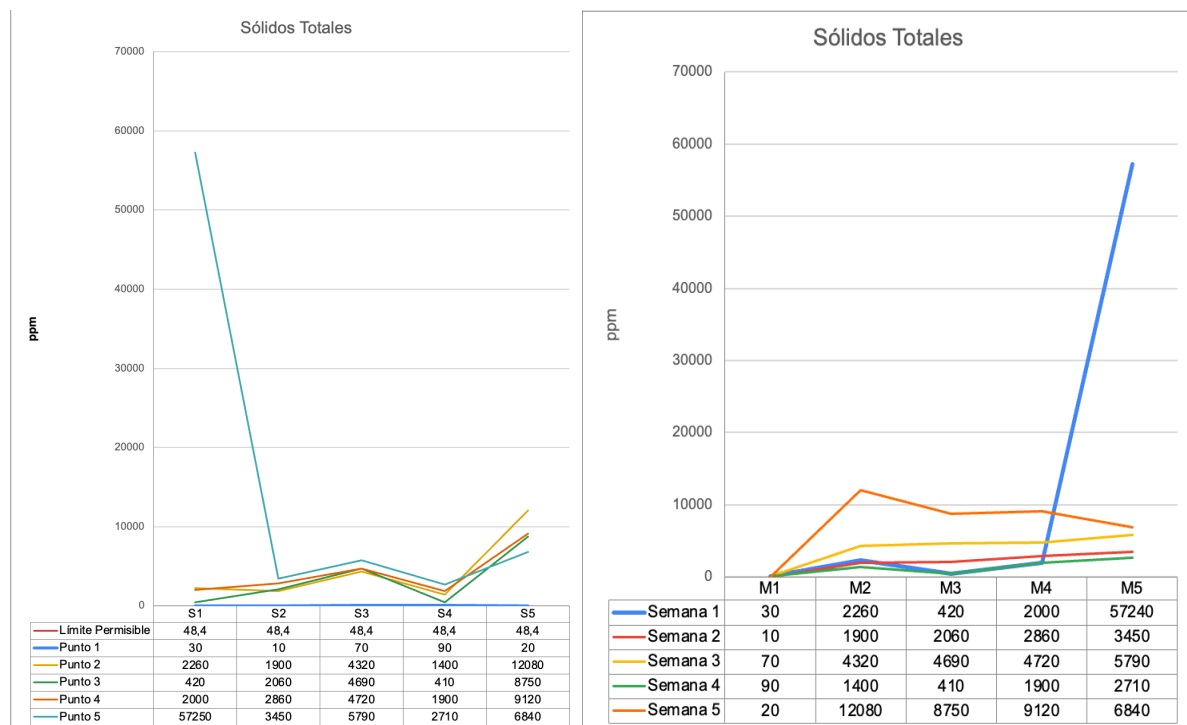


Figura 24. Resultados obtenidos de sólidos totales con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 24, en el punto 1, la semana 3 y 4 los valores superan el valor máximo permisible, esto se puede deber a las condiciones climáticas que se presentaron en esas semanas, donde existió fuertes lluvias generando el arrastre de lodos lo cual reflejó un incremento en los sólidos totales en las 5 semanas.

Con respecto a los demás puntos durante las 5 semanas, los valores superan el valor máximo permisible (48 mg/l), este incremento se pudo deber a que en esos puntos siempre existen sedimentos que son arrastrados por el río Volcán el cual se une al río Upano en el punto 2 y continua a las demás zonas de muestreo.

3.1.2.2 Turbiedad (5% max de la condición natural)

En base al TULSMA (2015), el criterio de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, un límite permisible que no debe superar la condición natural más del 5%, si la turbiedad natural del agua varía entre 0 a 50 NTU. El valor promedio que se obtuvo del límite permisible fue de 14,31 NTU el cual sirvió como referencia para evaluar los resultados durante el transcurso de las 5 semanas y en los 5 puntos.

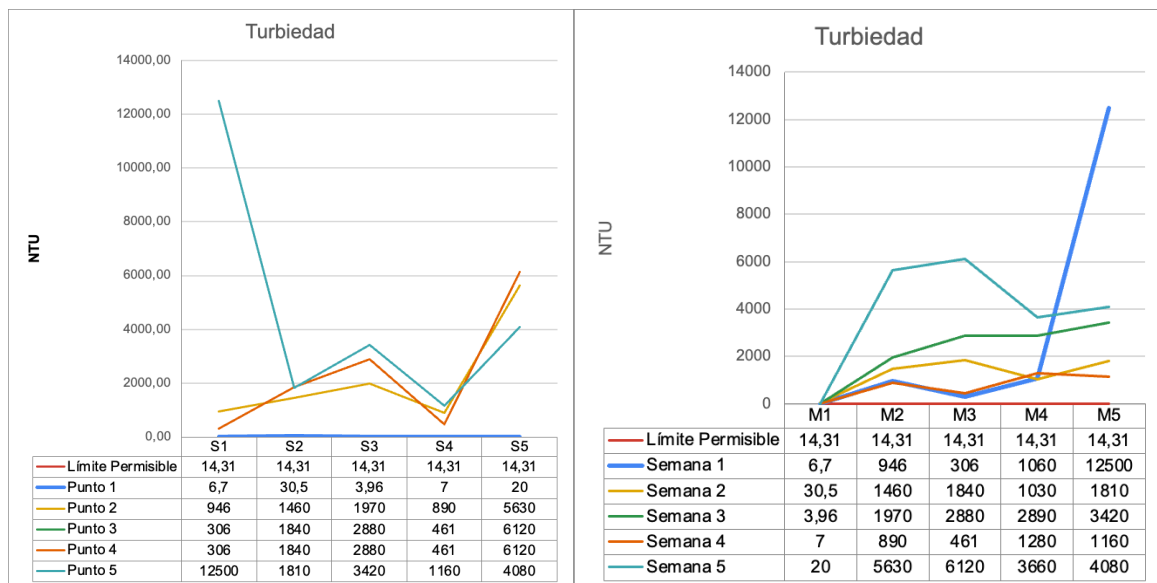


Figura 25. Resultados obtenidos de turbiedad con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 25, los valores obtenidos en las semanas 2 y 5 del punto 1 tienen un pequeño incremento producido por las lluvias y el arrastre de lodos, por otro lado, en los demás puntos se ven como han sido afectados por el contacto con material piroclástico en la unión con el río Volcán, donde los valores son más elevados que el límite permisible.

3.1.2.3 Potencial hidrógeno

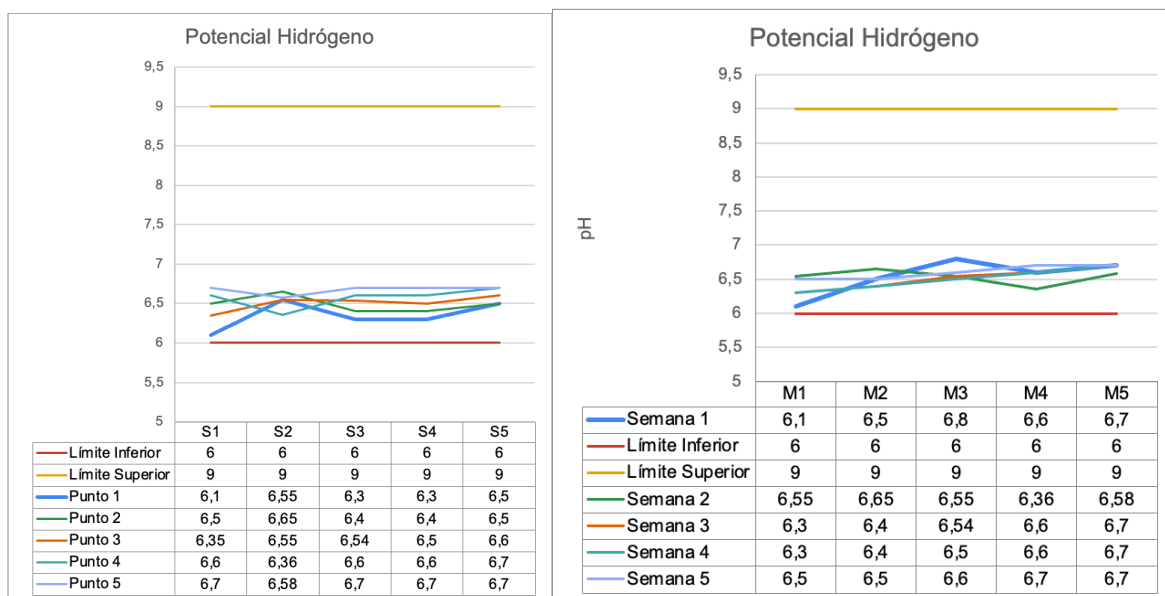


Figura 26. Resultados obtenidos de pH con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 26, todos los valores obtenidos en las 5 semanas y en los 5 puntos cumplen con la norma emitida por la OMS donde el límite mínimo es de 6 y su límite máximo es de 9.

3.1.2.4 Conductividad

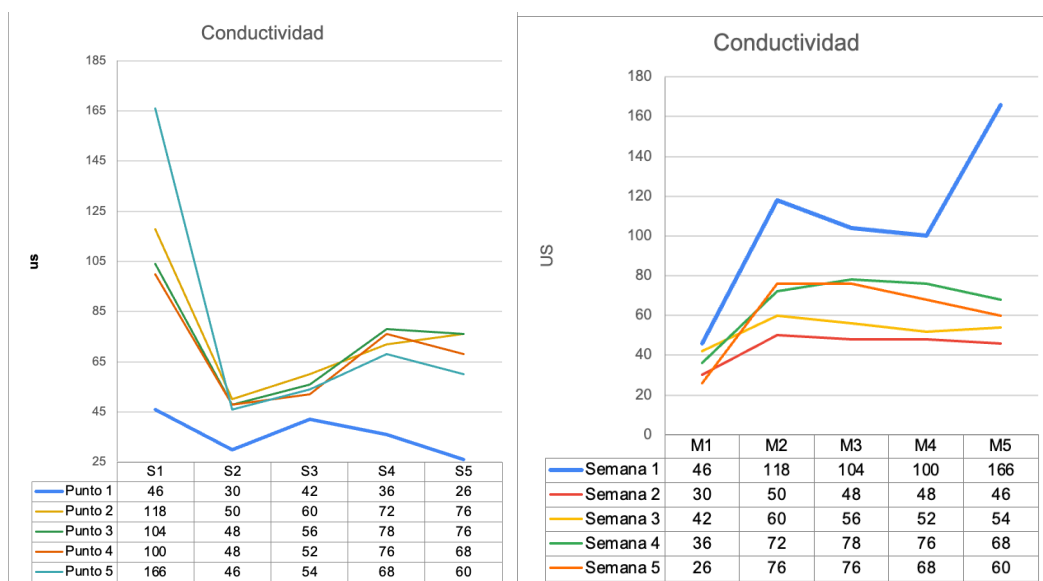


Figura 27. Resultados obtenidos de conductividad con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Como se puede observar en la figura 27 todos los valores obtenidos en las 5 semanas en el punto 1 no difieren mucho entre sí. Según los autores Fonseca & Clairand (2018), en su

publicación titulada “Caracterización preliminar de la calidad del agua del Reservorio del Centro Experimental Académico Salache” esto se debe a la poca cantidad de sales en disolución que presenta el cuerpo hídrico. El río Upano antes de la unión con el río Volcán, como también estos valores se mantienen constantes a lo largo de las 5 semanas, sin embargo los valores obtenidos a partir del punto 2 sufren un incremento significativo que indica la alta cantidad de sales presentes en el agua.

3.1.2.5 Sólidos disueltos

Todos los valores obtenidos en las 5 semanas cumplen con la norma TULSMA (2015), donde su límite permitido es de 500 mg/L, sin embargo, se puede evidenciar un incremento en los valores de la semana 1 en todos los puntos y que el punto 1 tiene menor concentración de sólidos disueltos que los demás puntos.

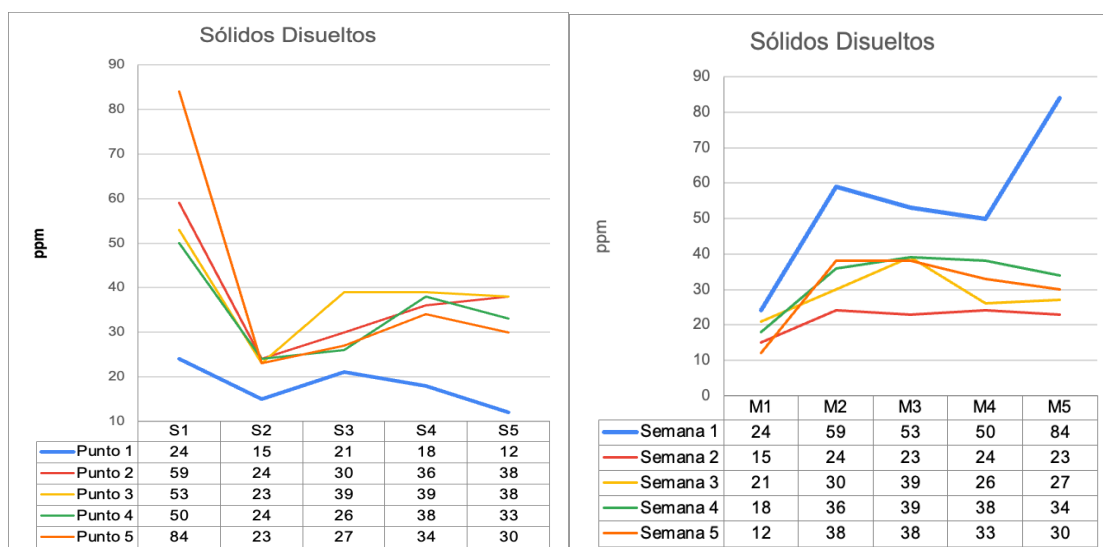


Figura 28. Resultados obtenidos de Sólidos Disueltos con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Hay unas tendencias particulares, en los valores del primer punto de muestreo (Alto Upano) como también con los valores de la primera semana de muestreo. Se evidencia en la figura 28, estos valores se encuentran fuera de la tendencia que tienen los demás puntos. En el caso de los resultados correspondientes al punto 1 a lo largo de las semanas, estos se mantienen constantes y bajos comparados con los demás valores, esto debido a que este punto se lo considera como la condición natural y no se ha unido con el río Volcán. En la gráfica de la derecha de la figura 28, se observa que los valores de la semana 1 son superiores con respecto a las demás semanas, según W. Adam Sigler & Jim Bauder (2015) en su publicación sobre “Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales” esto se puede deber a

la presencia de carbonatos y bicarbonatos en la fuente hídrica, está información se respalda con los resultados obtenidos de la alcalinidad del agua.

3.1.2.6 Dureza

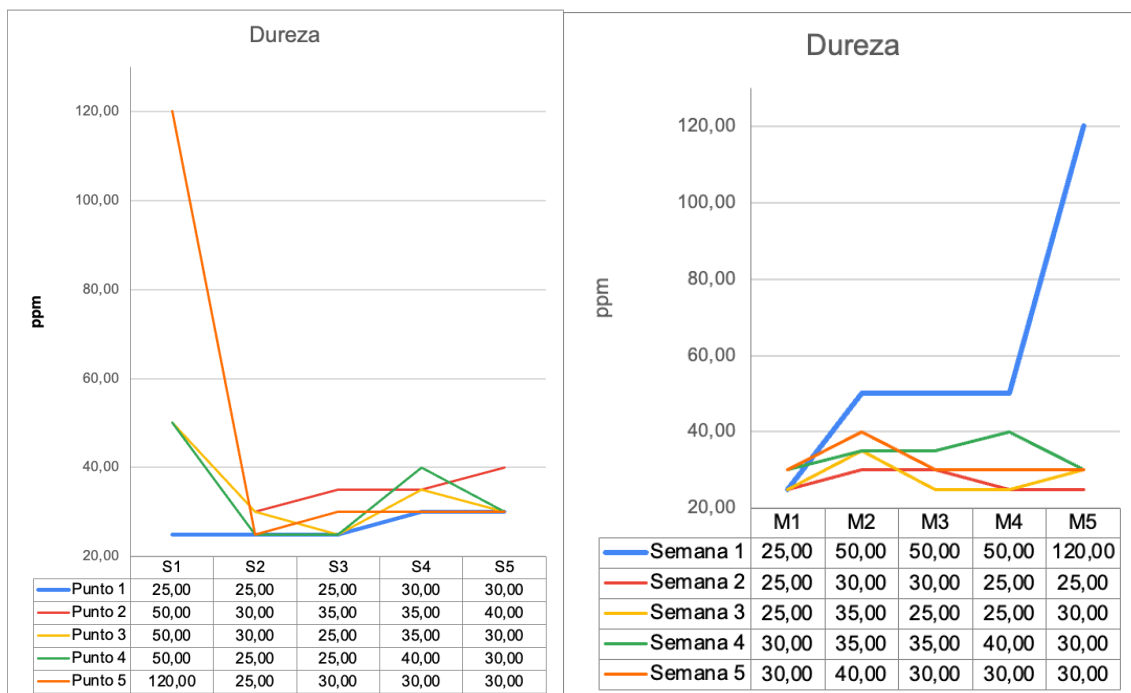


Figura 29. Resultados obtenidos de Dureza con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 29, todos los valores obtenidos en las 5 semanas están relacionados. En base a la bibliografía referida por Mariana López Sánchez et al. (2005), el agua de este punto se encuentra en una concentración menor a 75 mg/l, considerándola como “agua blanda”, por lo tanto, tienen relación a los valores mínimos obtenidos de conductividad ya que no existe mucha concentración de iones calcio y magnesio. Además, se observa una particularidad en el punto 5 (Puente de Macas) en la primera semana, el valor (120 mg/l) se encuentra en el rango de 75 -150 mg/l, se la considera como “agua moderada”, lo cual no está muy alejado a la consideración hecha para todos los muestreos realizados.

3.1.2.7 Alcalinidad

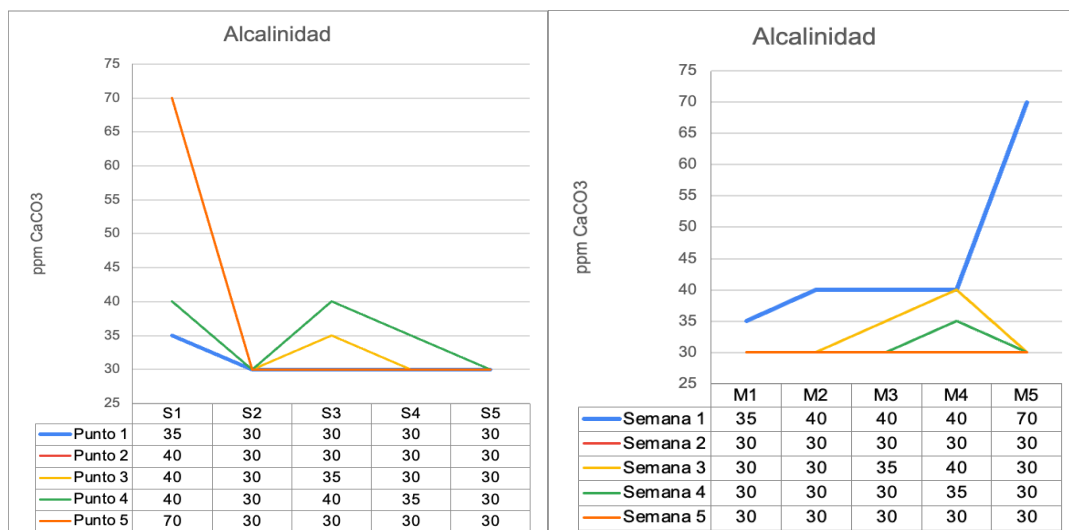


Figura 30. Resultados obtenidos de Alcalinidad con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 30, todos los valores obtenidos en las 5 semanas cumplen con normativas internacionales referidos por la literatura de Pérez-López (2016), debido a que no hay en el TULSMA, donde su límite permitido está en el rango de 20 mg/l a 200 mg/l. Tienen relación a los valores mínimos obtenidos de dureza ya que no existe mucha concentración de iones calcio y magnesio.

3.1.2.8 Nitratos

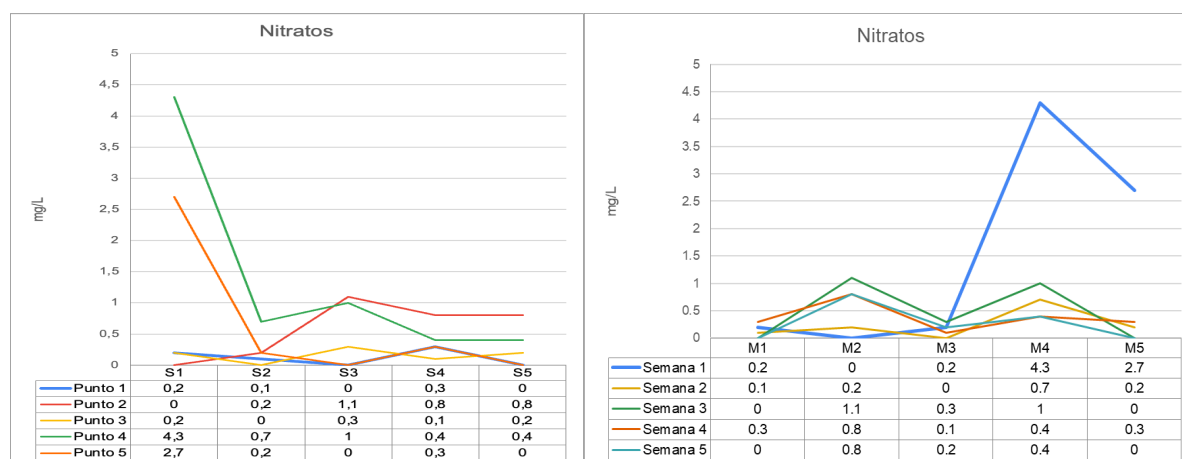


Figura 31. Resultados obtenidos de Nitratos con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 31, todos los valores obtenidos en las 5 semanas cumplen con la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, los valores máximos permitidos de nitratos son de 13 mg/l para la preservación de la vida acuática y

silvestre en aguas dulces. Según Cabrera Molina et al. (2003) en su bibliografía sobre la determinación de nitratos en agua, la pequeña variación de la concentración de nitratos en el punto 4 y 5 de la semana 1 se puede deber a la descomposición de materia vegetal que se encontró en las zonas de muestreo.

3.1.2.9 Sulfatos

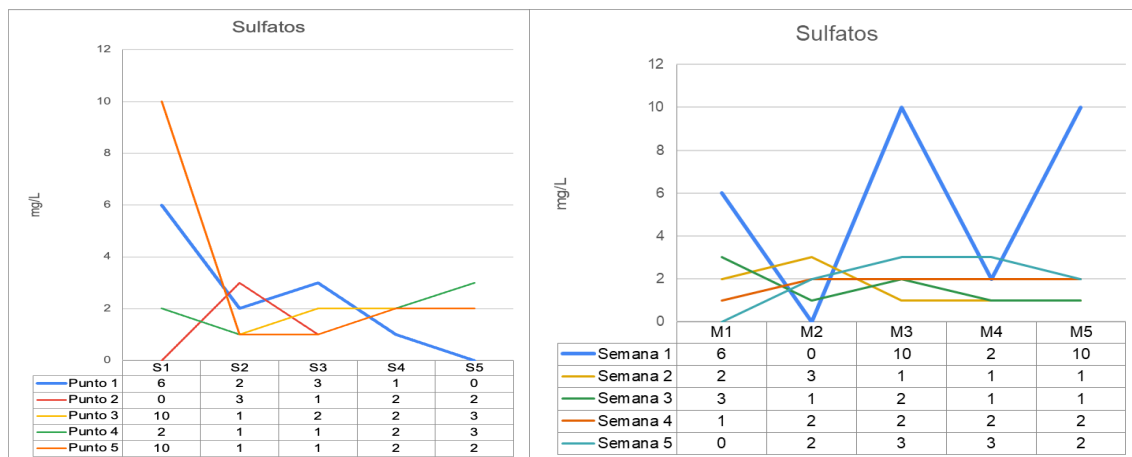


Figura 32. Resultados obtenidos de Sulfatos con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 32, todos los valores obtenidos en las 5 semanas cumplen con la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”, el límite máximo de descarga permisible a un cuerpo de agua dulce para los sulfatos es de 1000 mg/l.

3.1.2.10 Fósforo

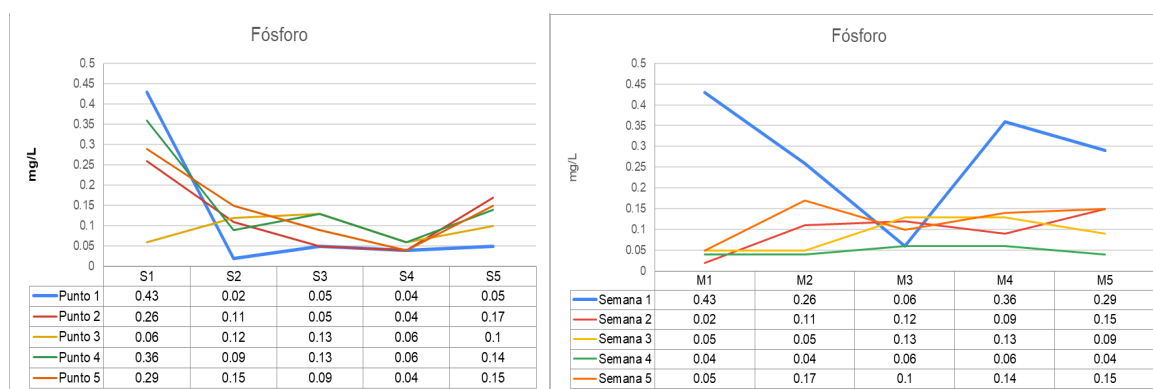


Figura 33. Resultados obtenidos de Fósforo con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 33, todos los valores obtenidos en las 5 semanas cumplen con la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador”.

3.1.2.11 Cromo

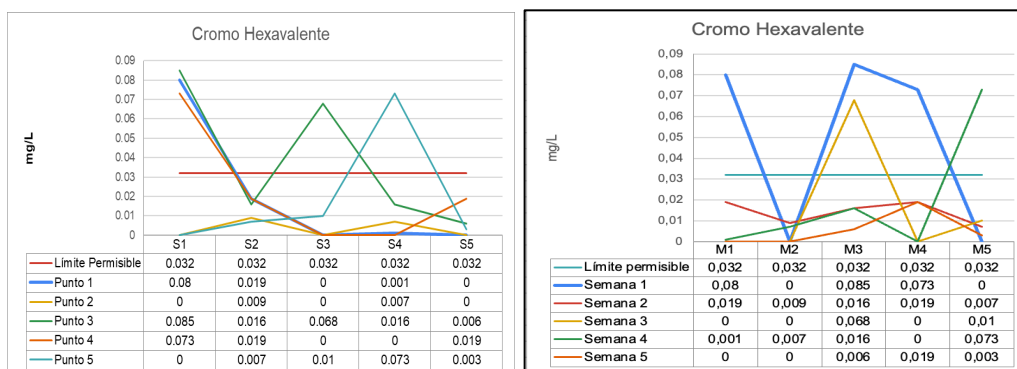


Figura 34. Resultados obtenidos de Cromo con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en la figura 34, en la gráfica de la derecha, que en la semana 1, los puntos 1, 3 y 4 superan el valor máximo permisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces según TULSMA (2015). María José López Muñoz (2016) menciona que la presencia de cromo en agua está relacionada con la actividad industrial, una de las actividades realizadas en la zona es el tratamiento de madera, sin embargo, la concentración de cromo es mínima y no se puede considerar una fuente de contaminación.

3.1.2.12 Coliformes Totales y Coliformes Fecales

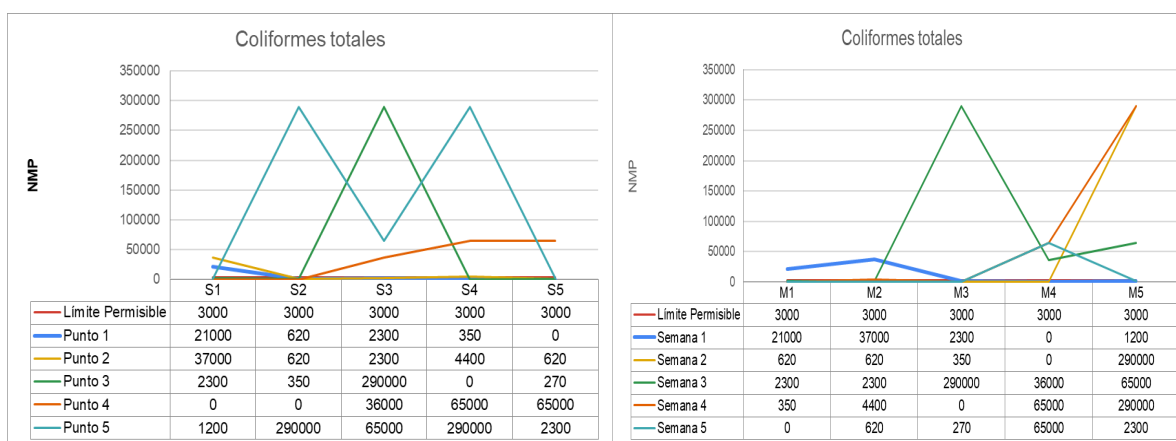


Figura 35. Resultados obtenidos de Coliformes Totales con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

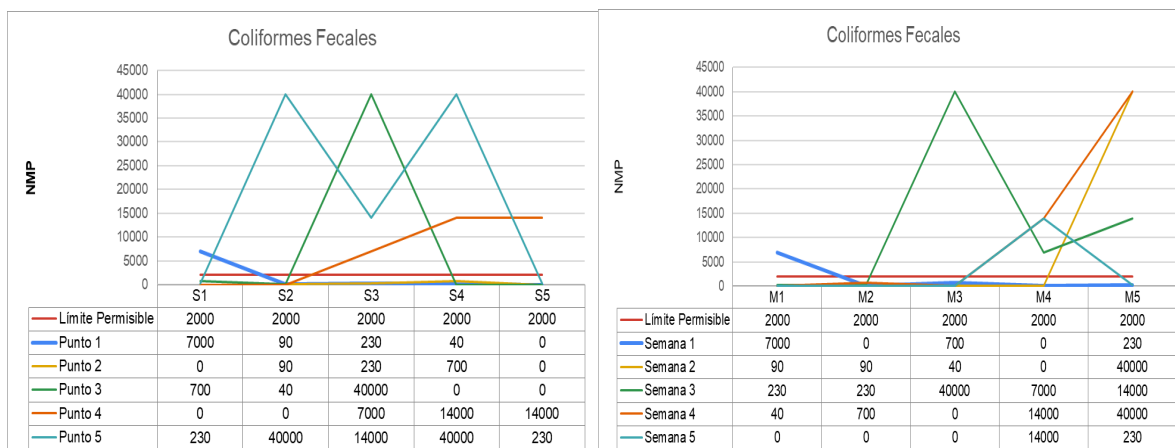


Figura 36. Resultados obtenidos de Coliformes Fecales con respecto al transcurso de semanas y por cada punto.

Se puede observar en las figuras 35 y 36, los valores obtenidos en los puntos 1 y 2 (Alto Upano y unión con el río Volcán) en general cumplen con la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, del texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador” ya que en estos puntos no hay cercanía con zonas rurales por lo tanto la concentración de coliformes se encuentran por debajo del límite permisible, 3000 NMP para coliformes Totales y 2000 NMP para coliformes fecales; sin embargo, en la semana 1 se ve que hay un valor atípico conforme a los demás valores, esto debido a presencia de fauna en la zona lo cual provoca la presencia de *Escherichia coli*.

En general se puede observar que el río Upano es propenso a la contaminación por Coliformes debido a las zonas rurales y a la descarga de desechos fecales originado por sus habitantes, esto se evidencia con mayor claridad en los puntos 3, 4 y 5 (Wapu, Santa Rosa y Puente de Macas), siendo estos puntos los de mayor afluencia de personas ya que se encuentran comunidades que están relativamente cerca al cuerpo hídrico. Esto se deduce debido a que se encontró presencia de *Escherichia coli*, bacteria que presenta contaminación fecal de origen humano o animal, según descrito por el autor Ramos Ribero (2018).

3.1.3 Análisis por medio de herramienta ICATEST

Los resultados de los 13 parámetros obtenidos experimentalmente de los 5 puntos en las 5 semanas de muestreo se ingresaron en el programa ICAtest para saber la calidad del agua del río Upano.

Los valores obtenidos de cada índice para cada una de las estaciones y puntos de muestreos; su clasificación y su escala de color se expresan en la figura 37 que se encuentra a continuación:

	E1M1	E1M2	E1M3
NSF	42.65 (Mala)	53.02 (Media)	43.67 (Mala)
OWQI	14.01 (Muy Pobre)	14.07 (Muy Pobre)	13.98 (Muy Pobre)
ICOMI	0.031 (Ninguno)	0.117 (Ninguno)	0.1 (Ninguno)
ICOMO	0.713 (Alto)	0 (Ninguno)	0.153 (Ninguno)
ICOSUS	0.07 (Ninguno)	1 (Rojo)	1 (Rojo)
	E1M4	E1M5	E2M1
NSF	43.04 (Mala)	31.26 (Mala)	55.9 (Media)
OWQI	14.07 (Muy Pobre)	14.05 (Muy Pobre)	19.69 (Muy Pobre)
ICOMI	0.096 (Ninguno)	0.54 (Medio)	0.017 (Ninguno)
ICOMO	0 (Ninguno)	0 (Ninguno)	0 (Ninguno)
ICOSUS	1 (Rojo)	1 (Rojo)	0.01 (Ninguno)
	E2M2	E2M3	E2M4
NSF	43.68 (Mala)	46.2 (Mala)	44.93 (Mala)
OWQI	14.07 (Muy Pobre)	14.07 (Muy Pobre)	14.01 (Muy Pobre)
ICOMI	0.036 (Ninguno)	0.034 (Ninguno)	0.033 (Ninguno)
ICOMO	0 (Ninguno)	0 (Ninguno)	0 (Ninguno)
ICOSUS	1 (Rojo)	1 (Rojo)	1 (Rojo)
	E2M5	E3M1	E3M2
NSF	35.1 (Mala)	46.63 (Mala)	30.44 (Mala)
OWQI	11.53 (Muy Pobre)	19.45 (Muy Pobre)	13.99 (Muy Pobre)
ICOMI	0.031 (Ninguno)	0.027 (Ninguno)	0.046 (Ninguno)
ICOMO	1 (Muy Alto)	0 (Ninguno)	0 (Ninguno)
ICOSUS	1 (Rojo)	0.19 (Ninguno)	1 (Rojo)
	E3M3	E3M4	E3M5
NSF	34.3 (Mala)	36.58 (Mala)	36.92 (Mala)
OWQI	11.53 (Muy Pobre)	11.53 (Muy Pobre)	11.53 (Muy Pobre)
ICOMI	0.04 (Ninguno)	0.037 (Ninguno)	0.039 (Ninguno)
ICOMO	1 (Muy Alto)	0.713 (Alto)	0.882 (Muy Alto)
ICOSUS	1 (Rojo)	1 (Rojo)	1 (Rojo)
	E4M1	E4M2	E4M3
NSF	60.92 (Media)	29.67 (Mala)	60.5 (Media)
OWQI	19.46 (Muy Pobre)	13.91 (Muy Pobre)	14.07 (Muy Pobre)
ICOMI	0.023 (Ninguno)	0.058 (Ninguno)	0.065 (Ninguno)
ICOMO	0 (Ninguno)	0.153 (Ninguno)	0 (Ninguno)
ICOSUS	0.25 (Bajo)	1 (Rojo)	1 (Rojo)
	E4M4	E4M5	E5M1
NSF	33.08 (Mala)	36.7 (Mala)	74.02 (Buena)
OWQI	11.53 (Muy Pobre)	11.53 (Muy Pobre)	19.7 (Muy Pobre)
ICOMI	0.064 (Ninguno)	0.053 (Ninguno)	0.015 (Ninguno)
ICOMO	0.882 (Muy Alto)	1 (Muy Alto)	0 (Ninguno)
ICOSUS	1 (Rojo)	1 (Rojo)	0.04 (Ninguno)
	E5M2	E5M3	E5M4
NSF	46.38 (Mala)	59.88 (Media)	31.8 (Mala)
OWQI	14.07 (Muy Pobre)	14.07 (Muy Pobre)	11.53 (Muy Pobre)
ICOMI	0.064 (Ninguno)	0.062 (Ninguno)	0.053 (Ninguno)
ICOMO	0 (Ninguno)	0 (Ninguno)	0.882 (Muy Alto)
ICOSUS	1 (Rojo)	1 (Rojo)	1 (Rojo)
	E5M5		
NSF	41.98 (Mala)		
OWQI	14.05 (Muy Pobre)		
ICOMI	0.045 (Ninguno)		
ICOMO	0 (Ninguno)		
ICOSUS	1 (Rojo)		

Figura 37. Análisis comparativo de índices.

Nota. Adaptado de ICAtest. **Fuente.** Elaboración Autor

3.1.3.1 Análisis de indicadores de calidad OWQI y NSF

A partir de los índices de calidad generados a través del programa ICAtest, es factible llevar a cabo una comparación de los índices de calidad OWQI y NSF mediante gráficos, con el

propósito de visualizar cómo varía la calidad del agua en cada semana en los cinco puntos de muestreo.

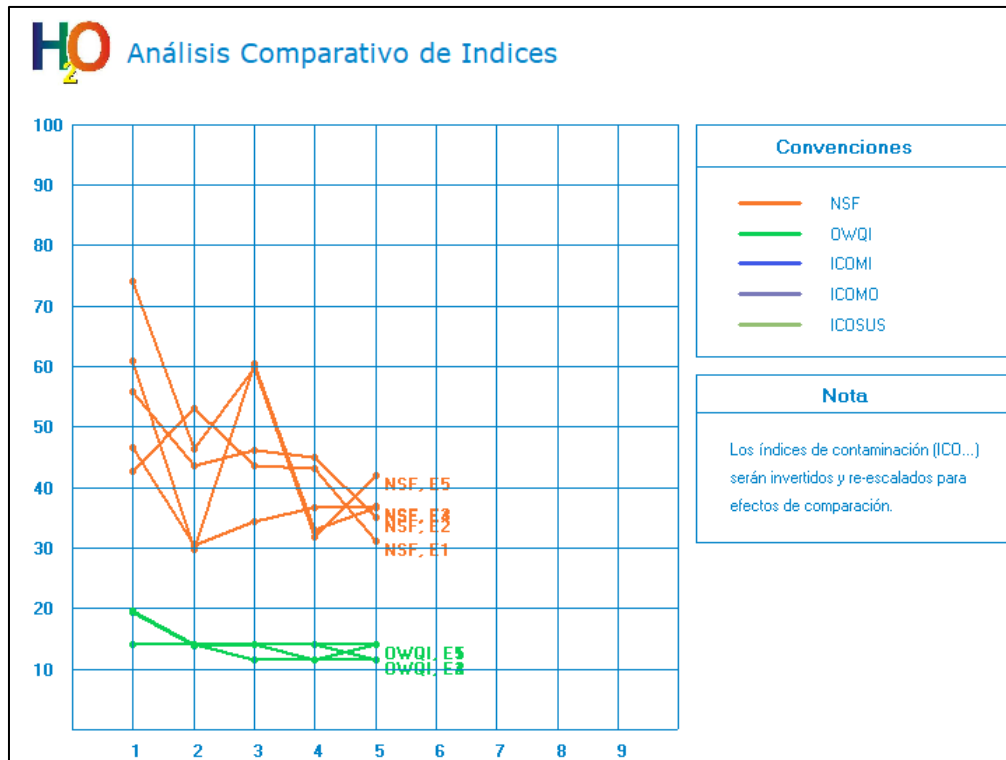


Figura 38. Análisis comparativo entre muestreos de índices de calidad NSF y OWQI

Nota. Adaptado de ICAtest. **Fuente.** Elaboración Autor

En la figura 38 se puede evidenciar que el Índice de calidad de agua de Oregón (OWQI) utilizado para evaluar y comunicar la calidad del agua en ríos (Universidad de Pamplona, 2010), considera a la calidad del agua del río Upano como “muy pobre”. Esto se debe a los parámetros que se identificaron experimentalmente como los principales agentes contaminantes del agua y que el OWQI utiliza en su evaluación, en particular, los coliformes fecales y los sólidos totales. Por lo tanto los valores de índice de calidad obtenidos en cada muestra de agua de las 5 semanas y en los 5 puntos de muestreo terminan como resultado en un rango de 0-59 que indica una clasificación “muy pobre”. Esto se puede evidenciar por la clasificación del índice tal como indica el anexo A ubicado en la sección de anexos.

Por otra parte, se puede observar en la figura 38, que el Índice de la fundación nacional de saneamiento (NSF) utilizado para garantizar el tratamiento del agua y el cumplimiento con estándares rigurosos de calidad y seguridad (Universidad de Pamplona, 2010), considera a la calidad del agua del río Upano como “mala”, en algunas muestras de agua es considerada como “media” y una muestra de agua fue considerada como “buena”, esto respecto a los parámetros que se identificaron como los principales agentes contaminantes del agua, y que

el NSF utiliza en la valoración del índice de calidad, tales como coliformes fecales, turbidez y sólidos totales. En consecuencia, se observa que hay cuatro muestras de agua con valores de índice de calidad NSF que terminan en el rango de 51-70, lo que indica una calificación “media” y corresponden a la semana 1 en el punto 2, la semana 2 en el punto 1, la semana 4 en los puntos 1 y 3, y la semana 5 en el punto 3. Además, se identificó un valor de 74,02 en el índice de calidad NSF que fue clasificado como “buena” en la muestra de la semana 5 en el punto 1. Sin embargo, la mayoría de las muestras de agua, un total de 19, fueron clasificadas como malas. Estas muestras se encuentran en los demás puntos a lo largo de todas las semanas y tienen valores que oscilan entre 26-50, lo que se traduce en una clasificación “mala”. Esto se puede evidenciar por la clasificación del índice tal como indica el anexo B ubicada en la sección de anexos.

3.1.3.2 Análisis de indicadores de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS

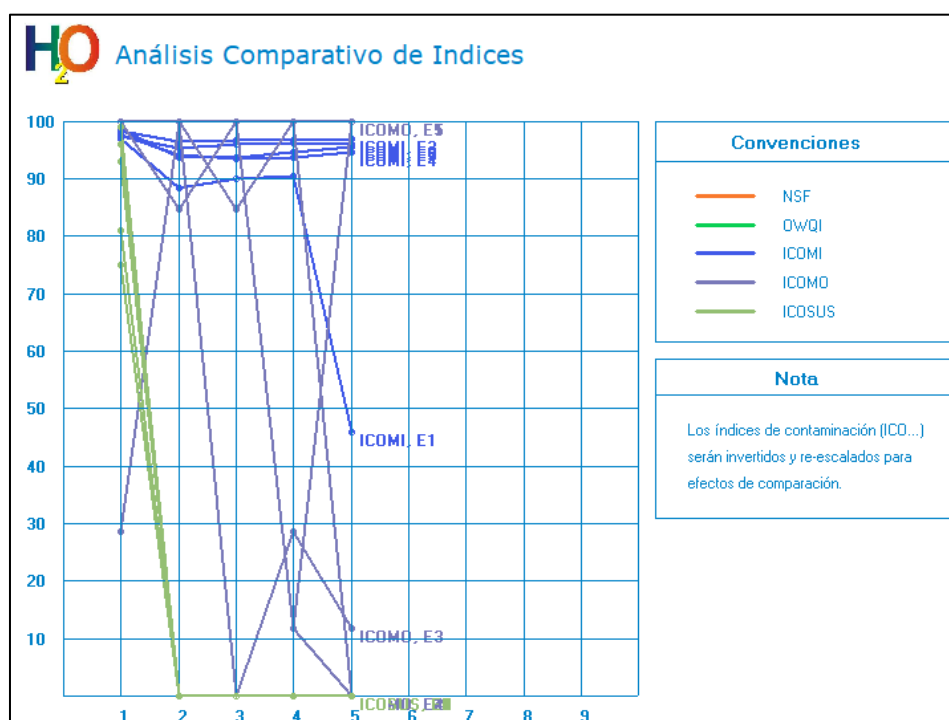


Figura 39. Análisis comparativo entre muestreos de índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS

Nota. Adaptado de ICAtest. **Fuente.** Elaboración Autor

De igual manera, se generaron gráficas las cuales se pueden visualizar en la figura 39, las mismas que representan los índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS.

El ICOMI se utiliza para evaluar la contaminación por mineralización y considera parámetros como la conductividad, la dureza y la alcalinidad del agua (Universidad de Pamplona, 2010). Según este índice, el agua del río Upano se clasifica como no contaminada por los parámetros mencionados. Sin embargo, se observó un valor de 0,54 en el índice de contaminación ICOMI

en la muestra de la semana 1 en el punto 5, clasificado como “medio” ya que se encuentra en el rango de 0,4 - 0,6; este valor se lo consideró como un dato atípico. La clasificación según el índice de contaminación se puede observar en el anexo C. Según Roberto Rodríguez (2010) esto se debe a un aumento en la concentración de minerales en esa muestra en particular se alteró por el incremento de iones calcio y magnesio que se pudo producir por la gran cantidad de lluvia en la zona que arrastró piedra caliza incrementando el caudal de río en ese instante.

Por otro lado el índice ICOMO se utiliza para conocer el grado de contaminación por materia orgánica presente en el agua (Universidad de Pamplona, 2010), por lo cual considera al agua del río Upano con un índice de contaminación “muy alta”, en algunas muestras de agua es considerado como “ninguno” y en pocas muestras de agua fue considerada como “alta”, esto respecto a los parámetros que se identificaron como los principales agentes contaminantes del agua, y que el ICOMO utiliza en su evaluación, en particular, los coliformes fecales. En consecuencia, se observa que hay seis muestras de agua con valores de índice de contaminación que terminan en el rango de 0,8 - 1, lo que indica una clasificación “muy alto” y corresponden a la semana 2 en el punto 5, la semana 3 en los puntos 3 y 5, la semana 4 en los puntos 4 y 5, y la semana 5 en el punto 4. Además, se identificaron dos valores del índice ICOMO dentro del rango de 0,6 - 0,8 que fue clasificado como “alto” en la muestra de la semana 3 en el punto 4 y semana 1 en el punto 1. No obstante la mayoría de las muestras de agua, un total de 17, fueron clasificadas como “ninguna” es decir no tienen grado de contaminación por materia orgánica. De igual forma, en el anexo D en la sección de anexos se puede ver la escala de clasificación del índice de contaminación ICOMO.

Finalmente se realizó el índice ICOSUS, que se utiliza para evaluar la contaminación del agua debido a sólidos (Universidad de Pamplona, 2010). Según este índice, se determinó que el agua del río Upano presenta niveles de contaminación por sólidos que caen en el rango de 0.8 - 1, lo que implica una clasificación de “muy alto” a partir del segundo punto de muestreo en adelante, la razón de este aumento se debe a que los lugares mencionados se vieron afectados por la contaminación de los sedimentos transportados por el río Volcán, que confluye con el río Upano en el punto 2 y se extiende hacia las otras áreas de muestreo. Esto representa que en el primer punto de muestreo en todas las semanas cuando el agua del río Upano se encuentra en su condición natural se mantiene en una clasificación “ninguno” de contaminación de sólidos. Las escalas mencionadas se pueden visualizar en el anexo E ubicada en la sección de anexos.

Capítulo IV

4 Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Se analizó la calidad de las muestras de agua en función a la "Revisión del 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". En la observación, se evidenció que las concentraciones de ciertos parámetros, como Sólidos Totales, Turbiedad, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, superaban los niveles máximos permisibles. Esto se debía, en primer lugar, a la influencia de erupciones volcánicas tanto internas como externas del Volcán Sangay, que pueden considerarse como "presiones naturales". Además, se identificaron "presiones antropogénicas", que se refieren a las influencias, impactos o presiones ejercidas por las actividades humanas en el entorno ambiental. Estas varían a lo largo de la micro cuenca del Río Upano hasta llegar al último punto de muestreo que era en el puente de la ciudad de Macas.

Las principales actividades naturales y antropogénicas identificadas que afectan la calidad del agua en la micro cuenca del río Upano, son principalmente la actividad volcánica elevada que ha afectado los últimos meses al río con contenido de gases, ceniza volcánica, material piroclástico, materia orgánica e inorgánica. Además, se destacan las prácticas agrícolas y ganaderas llevadas a cabo por los habitantes de la zona, las cuales están en un proceso de crecimiento y desarrollo significativo.

Durante la recolección de muestras, se notó la presencia de pequeños arroyos que alimentan tanto el río Volcán como el río Upano, donde hay una mayor fuerza y mezcla de aguas, lo que provoca que se incremente el caudal y velocidad y con ello arrastrando material orgánico e inorgánico. En estos arroyos se percibe un intenso olor a desechos de origen animal y vegetal, generados por la ganadería y la agricultura, lo que contribuye a la contaminación del río Upano. Esta contaminación se refleja en la presencia de Coliformes en su composición química.

Después de atravesar la zona de mayor contaminación, que se encuentra en la confluencia con el río Volcán, el río Upano experimenta variaciones en los valores de cada parámetro debido a su capacidad de autodepuración. Esto se debe a la oxigenación generada por las características inherentes de los cuerpos de agua de montaña presentes en la parte alta de la cuenca del río Upano, que incluyen pendientes pronunciadas, velocidades propias de corrientes de montaña y una red de drenaje abundante.

Con base en lo mencionado, se puede concluir que la calidad del agua del río Upano a lo largo de su recorrido a partir de la confluencia con el río Volcán se clasifica como "Mala" según el índice NSF y como "Muy Pobre" según el índice OWQI, según la evaluación realizada. No obstante, en el primer punto donde el río se encuentra en su estado natural, los índices NSF y OWQI indican que el agua es apta para la preservación de la vida acuática y silvestre.

4.2 Recomendaciones

Se sugiere que se informe a la población de la provincia de Morona Santiago, en particular a los habitantes del cantón Morona y la ciudad de Macas, sobre la situación actual de las aguas del río Upano. El propósito es desalentar su utilización para actividades ganaderas y consumo personal. Esta comunicación puede llevarse a cabo a través de diversos medios, como estaciones de radio y plataformas de redes sociales.

En colaboración con el Departamento de Gestión Ambiental y el Departamento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Morona, se llevará a cabo un análisis de las aguas del río Upano en los meses venideros. Esto tiene como objetivo verificar la contaminación identificada en el estudio actual y evaluar las posibles variaciones que puedan surgir, teniendo en cuenta las condiciones climáticas variables.

Una solución a esta situación consiste en tratar el agua para su uso en las áreas circundantes, considerando que los principales agentes contaminantes son los coliformes y los sólidos totales. Este proceso puede ser relativamente sencillo e implicar varias etapas. En primer lugar, se podría llevar a cabo una sedimentación de los sólidos, depositándolos en tanques de gran capacidad para que se asienten en el fondo. A continuación, se podría implementar un proceso de filtración, que podría ser realizado de manera efectiva mediante un filtro casero compuesto por capas de piedra, arena gruesa, arena fina, carbón activado y algodón.

Por último, pero no menos importante, como parte de las medidas preventivas, se hizo un llamado a la población para que se evite utilizar estas aguas con fines de consumo humano, hidratación de animales o para actividades recreativas y turísticas; es por esto que, sin el adecuado proceso de potabilización, el consumo de estas aguas podría representar un riesgo para la salud de los residentes de la región. Se debería desinfectar el agua utilizando una cantidad específica de cloro, de manera que se eliminen los microorganismos patógenos que puedan estar presentes.

5 Referencias

- Alarcón Corro, J. F. (2019). Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/12169>
- Barrantes, K., Chacón, L. M., Solano, M., & Achí, R. (2013). Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 33(1), 40-45.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Cabrera Molina, E., Hernández Garciadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, M. del P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Cañas Arias, J. S. (2014). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10901>
- Carolina Santamaría Elola. (2021, septiembre 24). *Cómo afectan las erupciones volcánicas a la calidad del agua* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/carolina-santamaria-elola/como-afectan-erupciones-volcanicas-calidad-agua>
- Fonseca, K., & Clairand, M. (2018). Caracterización preliminar de la calidad del agua del Reservorio del Centro Experimental Académico Salache. *UTCiencia*, 5(1), Article 1.
- Formica, S. M., Sacchi, G. A., Campodonico, V. A., Pasquini, A. I., & Cioccale, M. A. (2015). Modelado de calidad de agua en ríos de montaña con impacto antrópico. Caso de estudio: Sierra Chica de Córdoba, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(4), 327-341.
- Giraldo, J. S. R., & Alzate, K. A. C. (2014). *ESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA BASE PARA LA CONCENTRACIÓN DE LOS METALES CARACTERÍSTICOS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS EN LOS RÍOS OTÚN, QUINDÍO Y CAMPOALEGRE POR EL*

MÉTODO DE ESPECTROSCOPÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Hach. (2020a). *Sólidos totales y disueltos (TSS y TDS)—Parámetros de calidad del agua* | Hach. <https://es.hach.com/parameters/solids>

Hach. (2020b). *Turbidez* | Hach. <https://latam.hach.com/industries/drinking-water/turbidity>

Huaccha Sanchez, J. S., & Villena Lozano, M. P. (2021). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del manantial NE-02 para su consumo humano del caserío Agua Blanca, distrito de Sorochuco, Cajamarca—2019. *Universidad Privada del Norte*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4720754>

INEN. (2013a). *NTE INEN 2169—AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.pdf*. <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>

INEN. (2013b). *NTE INEN 2176:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO*. https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/nte_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf

INEN. (2013c). *NTE INEN-ISO 7027:2013*. Nextcloud. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/index.php/s/eoXL9XrcrxYkGdE>

INEN. (2014a). *NTE INEN 10523. CALIDAD DEL AGUA. DETERMINACION DEL pH*. Nextcloud. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/index.php/s/zsqyX9oHSjj9q4o>

INEN. (2014b). *NTE INEN-ISO 19458*. Nextcloud. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/index.php/s/nX3kNeNQgYe5XFe>

INEN. (2020). *NTE INEN 1108*. Nextcloud. <https://inencloud.normalizacion.gob.ec/index.php/s/RG8LJrRsbyiScwe>

Instituto Geofísico - EPN. (2020). *SANGAY*. <https://www.igepn.edu.ec/sangay>

Instituto Geofísico - EPN. (2021). Informe Especial del Volcán Sangay No. 2021-001—Instituto Geofísico—EPN. <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1852-informe-especial-del-volcan-sangay-no-2021-001>

Instituto Geofísico - EPN. (2023). *Volcanes—Instituto Geofísico—EPN*.
<https://www.igepon.edu.ec/gps/content/41-volcanes?start=0>

Javier Peña Jaramillo, Diego Feijoo, Holger Hurtado, & Pablo Salvador. (2014). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE INTERCEPTORES Y UNIDADES DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE MACAS, CANTÓN MORONA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO—II FASE PLAN MAESTRO*" (p. 346). GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA.
<http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/Proyectos/PTRATAMIENTO/Estudio%20de%20impacto%20ambiental%20-%20incluye%20plan%20de%20manejo.pdf>

Jorge Alberto Villena Chávez. (2018). *Calidad del agua y desarrollo sostenible*.
<https://www.scielosp.org/article/rpmesp/2018.v35n2/304-308/>

Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., & Romeu-Álvarez, B. (2012). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura*. 44(3).

María José López Muñoz. (2016, enero 22). *La contaminación del agua con cromo*.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/contaminacion-del-agua-con-cromo>

María Victoria Cremona & Javier Ferrari. (2018). *LAS CENIZAS VOLCÁNICAS Y LOS SUELOS DE LA Y LOS SUELOS DE LA REGIÓN*. <https://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/67-cenizasysuelos.pdf>

Mariana López Sánchez, Esther L. Romano Mendoza, & Jorge Triana Méndez. (2005). *El Agua*. <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/253/1/495.pdf>

Myriam Chacon. (2016). *Análisis gravimétrico en aguas*.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33952/Capitulo2Analisisgravimetrico2016MyriamChacon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Narvéez Porras, O., & Cano Valle, F. (2004). *CENIZAS VOLCÁNICAS: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, 17(3), 232-238.

- Olivas-Enriquez, E., Flores-Margez, J. P., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J., Salazar-Sosa, E., Fortis-Hernández, M., Olivas-Enriquez, E., Flores-Margez, J. P., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J., Salazar-Sosa, E., & Fortis-Hernández, M. (2011). Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al Río Bravo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 449-457.
- Organización Panamericana de la Salud. (2013). *Erupciones volcánicas—OPS/OMS*. <https://www.paho.org/es/temas/erupciones-volcanicas>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., Gallo, J. A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Peter Francis & Clive Oppenheimer. (2004). *Volcanoes*. <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/vulcanologia/874-flujos-piroclasticos>
- Ramos Ribero, K. D. (2018). *Diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados, procedentes de la planta de residuos sólidos el resodo, ubicada en el municipio de El Playón, Santander*. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5062>
- Rispoli, T., & Francisco, J. (2011). Mirando sobre y bajo el agua. *Idesia (Arica)*, 29(2), 169-174. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292011000200022>
- Roberto Rodriguez. (2010). *CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR SU DUREZA*. ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/clasificacion-del-agua-por-su-dureza>
- Rodríguez, I. A., Silva, R. M. P., & Reyes, A. M. (2010). Determinación De Sulfato Por El Método Turbidimétrico En Aguas Y Aguas Residuales. Validación Del Método. *Revista Cubana de Química*, XXII(3), 39-44.
- Rostain, S., & De Saulieu, G. (2019). El Pastaza y el Upano, dos ríos tropicales que conectan los Andes a la Amazonía. *Revista del Museo de La Plata*, 4(2), 353-384. <https://doi.org/10.24215/25456377e081>

Servicio Geológico Mexicano. (2017, marzo 22). *Depósitos piroclásticos y rocas*.
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Depositos-piroclasticos-y-rocas.html>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgo. (2020). *Informe de Situación No.012-Actividad Volcánica* (p. 5). Servicio Nacional de Gestión de Riesgo.
https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2020/02/Informe-de-Situaci%C3%B3n-No.-012-AV_Sangay_28012020.pdf

Stewart, C., Johnston, D. M., Leonard, G. S., Horwell, C. J., Thordarson, T., & Cronin, S. J. (2006). Contamination of water supplies by volcanic ashfall: A literature review and simple impact modelling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158(3), 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.07.002>

Torres, A. P., Lopez, R. G., & Pasian, C. (2016). *Manejo de la Alcalinidad en Sustratos Hidropónicos*.

TULSMA. (2015). *Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente)*. | UNEP Law and Environment Assistance Platform. <https://leap.unep.org/countries/ec/national-legislation/acuerdo-no-97a-norma-de-calidad-ambiental-y-de-descarga-de>






Universidad de Pamplona. (2010). *INDICES DE CALIDAD (ICAS) Y DE CONTAMINACION (ICOS) DEL AGUA DE IMPORTANCIA MUNDIAL*.

W. Adam Sigler & Jim Bauder. (2015). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*.
<https://studylib.es/doc/5287902/alcalinidad--ph--y-s%C3%B3lidos-disueltos-totales>

Yaneth, C. C., Myriam. (2017). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.






6 Anexos

6.1 Anexo A. Escala para clasificación según índice de calidad OWQI

Escala de Color		
Excelente	90 - 100	
Buena	85 - 89	
Marginal	80 - 84	
Pobre	60 - 79	
Muy Pobre	0 - 59	






Fuente. (ICAtest, 2004)

6.2 Anexo B. Escala para clasificación según índice de calidad NSF

Escala de Color		
Excelente	91 - 100	
Buena	71 - 90	
Media	51 - 70	
Mala	26 - 50	
Muy Mala	0 - 25	

Fuente. (ICAtest, 2004)

6.3 Anexo C. Escala para clasificación según índice de contaminación ICOMI

Escala de Color		
Ninguno	0 - 0,2	
Bajo	0,2 - 0,4	
Medio	0,4 - 0,6	
Alto	0,6 - 0,8	
Muy Alto	0,8 - 1	






Fuente. (ICAtest, 2004)

6.4 Anexo D. Escala para clasificación según índice de contaminación ICOMO

Escala de Color		
Ninguno	0 - 0,2	
Bajo	0,2 - 0,4	
Medio	0,4 - 0,6	
Alto	0,6 - 0,8	
Muy Alto	0,8 - 1	

Fuente. (ICAtest, 2004)

6.5 Anexo E. Escala para clasificación según índice de calidad ICOSUS

Escala de Color		
Ninguno	0 - 0,2	
Bajo	0,2 - 0,4	
Medio	0,4 - 0,6	
Alto	0,6 - 0,8	
Muy Alto	0,8 - 1	

Fuente. (ICAtest, 2004)

6.6 Anexo F. Muestra de agua del punto 1 (Alto Upano)



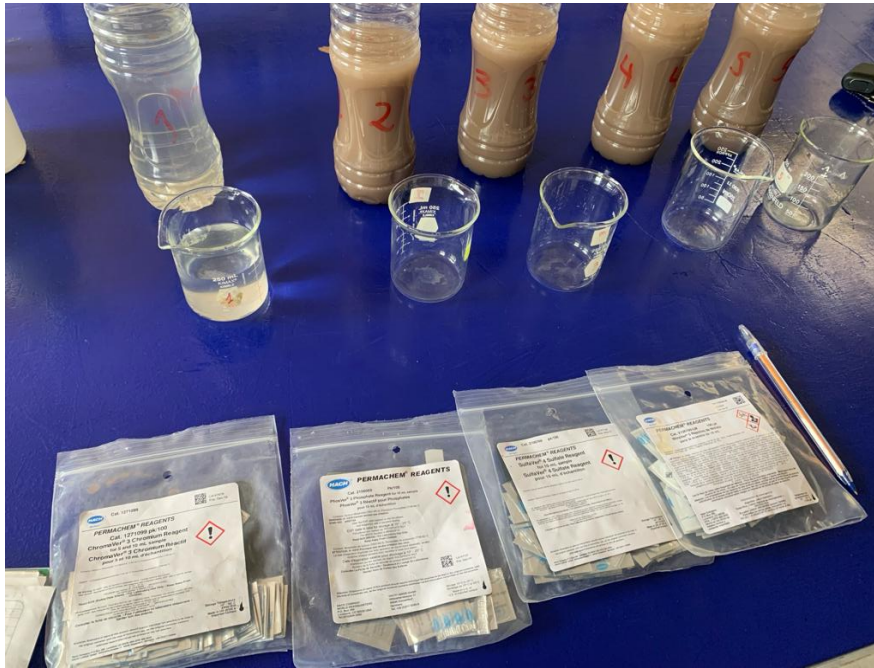
6.7 Anexo G. Muestra de agua del punto 2 (Unión entre río Volcán y río Upano)



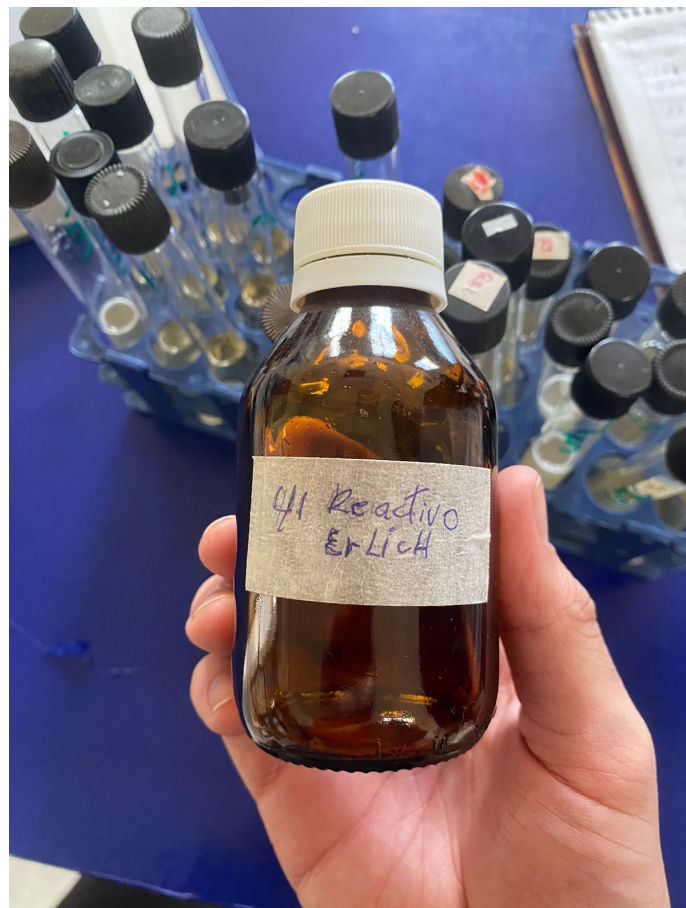
6.8 Anexo H. Fotografía que muestra el río volcán el cual presenta gran contaminación.



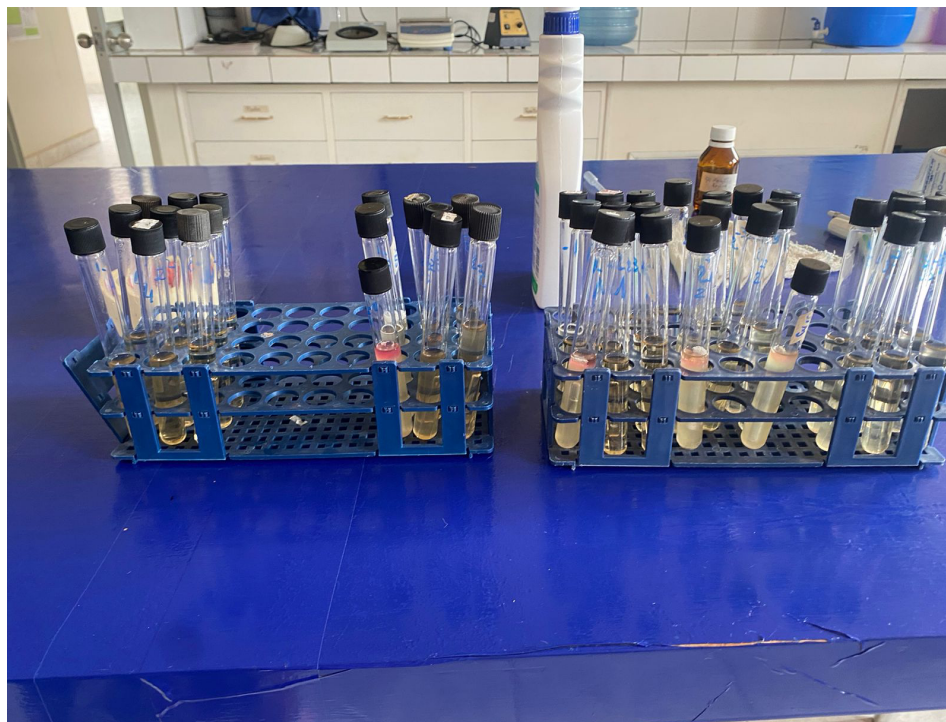
6.9 Anexo I. Almohadillas utilizadas para reacción y posterior análisis químicos



6.10 Anexo J. Reactivo de Ehrlich utilizado para identificar si hay coliformes fecales



6.11 Anexo K. Colocación de muestras para posterior análisis de parámetros microbiológicos.



6.12 Anexo L. Resultados de prueba de normalidad de Shapiro Wilks arrojados por el software IBM SPSS Statistics

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Solidos_totales	.316	25	<.001	.438	25	<.001
Turbidez	.216	25	.004	.740	25	<.001
pH	.170	25	.059	.915	25	.039
Conductividad	.190	25	.020	.869	25	.004
Solidos_disueltos	.202	25	.010	.879	25	.007
Dureza	.283	25	<.001	.534	25	<.001
Alcalinidad	.354	25	<.001	.499	25	<.001
Nitratos	.291	25	<.001	.592	25	<.001
Sulfatos	.305	25	<.001	.685	25	<.001
Fosforo	.215	25	.004	.812	25	<.001
Cromo_hexavalente	.320	25	<.001	.691	25	<.001
Coliformes_totales	.315	25	<.001	.538	25	<.001
Coliformes_fecales	.367	25	<.001	.587	25	<.001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

6.13 Anexo M. Resultados de prueba no paramétrica de Kruskal Wallis arrojados por el software IBM SPSS Statistics

Estadísticos de prueba^{a,b}

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos	Dureza	Alcalinidad	Nitratos	Sulfatos	Fosforo	Cromo_hexavalente	Coliformes_totales	Coliformes_fecales
H de Kruskal-Wallis	13.517	12.901	13.296	11.756	10.985	6.207	2.492	9.197	1.184	3.385	4.922	4.746	4.854
gl.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Sig. asin.	.009	.012	.010	.019	.027	.184	.646	.056	.881	.496	.295	.314	.303

a. Prueba de Kruskal Wallis
b. Variable de agrupación: varagrupac

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

6.14 Anexo N. Resultados de pruebas comparativas de Mann-Whitney arrojados por el software IBM SPSS Statistics

Punto 1 y 2

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	.000	.000	7.000	.000	.500
W de Wilcoxon	15.000	15.000	22.000	15.000	15.500
Z	-2.611	-2.611	-1.170	-2.611	-2.514
Sig. asin. (bilateral)	.009	.009	.242	.009	.012
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.008 ^b	.008 ^b	.310 ^b	.008 ^b	.008 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 1 y 3

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	.000	.000	5.000	.000	1.000
W de Wilcoxon	15.000	15.000	20.000	15.000	16.000
Z	-2.611	-2.611	-1.581	-2.611	-2.410
Sig. asin. (bilateral)	.009	.009	.114	.009	.016
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.008 ^b	.008 ^b	.151 ^b	.008 ^b	.016 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 1 y 4

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	.000	.000	2.000	.000	.500
W de Wilcoxon	15.000	15.000	17.000	15.000	15.500
Z	-2.611	-2.611	-2.227	-2.611	-2.514
Sig. asin. (bilateral)	.009	.009	.026	.009	.012
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.008 ^b	.008 ^b	.032 ^b	.008 ^b	.008 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 1 y 5

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	.000	.000	.000	.500	1.000
W de Wilcoxon	15.000	15.000	15.000	15.500	16.000
Z	-2.611	-2.611	-2.703	-2.514	-2.402
Sig. asin. (bilateral)	.009	.009	.007	.012	.016
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.008 ^b	.008 ^b	.008 ^b	.008 ^b	.016 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 2 y 3

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	10.000	12.000	10.000	12.500	9.500
W de Wilcoxon	25.000	27.000	25.000	27.500	24.500
Z	-.522	-.104	-.530	.000	-.631
Sig. asin. (bilateral)	.602	.917	.596	1.000	.528
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.690 ^b	1.000 ^b	.690 ^b	1.000 ^b	.548 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 2 y 4

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	10.500	11.000	8.000	10.500	11.000
W de Wilcoxon	25.500	26.000	23.000	25.500	26.000
Z	-.419	-.313	-.958	-.419	-.315
Sig. asin. (bilateral)	.675	.754	.338	.675	.753
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.690 ^b	.841 ^b	.421 ^b	.690 ^b	.841 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 2 y 5

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	6.000	7.000	1.000	9.500	9.500
W de Wilcoxon	21.000	22.000	16.000	24.500	24.500
Z	-1.358	-1.149	-2.495	-.629	-.629
Sig. asin. (bilateral)	.175	.251	.013	.530	.530
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.222 ^b	.310 ^b	.016 ^b	.548 ^b	.548 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 3 y 4

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	9.000	11.000	5.500	10.000	8.500
W de Wilcoxon	24.000	26.000	20.500	25.000	23.500
Z	-.731	-.313	-1.509	-.525	-.841
Sig. asin. (bilateral)	.465	.754	.131	.599	.401
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.548 ^b	.841 ^b	.151 ^b	.690 ^b	.421 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 3 y 5

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	6.000	8.000	1.000	10.000	8.500
W de Wilcoxon	21.000	23.000	16.000	25.000	23.500
Z	-1.358	-.940	-2.479	-.522	-.841
Sig. asin. (bilateral)	.175	.347	.013	.602	.401
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.222 ^b	.421 ^b	.016 ^b	.690 ^b	.421 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)

Punto 4 y 5

Estadísticos de prueba^a

	Solidos_totales	Turbidez	pH	Conductividad	Solidos_disueltos
U de Mann-Whitney	7.000	6.000	6.000	11.500	12.000
W de Wilcoxon	22.000	21.000	21.000	26.500	27.000
Z	-1.149	-1.358	-1.469	-.210	-.104
Sig. asin. (bilateral)	.251	.175	.142	.834	.917
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	.310 ^b	.222 ^b	.222 ^b	.841 ^b	1.000 ^b

a. Variable de agrupación: varagrupac

b. No corregido para empates.

Fuente. (IBM SPSS Statistics, 2022)