



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA



Evaluación de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos
de la microcuenca del río Alajua

Informe Final de Integración Curricular, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera Biotecnóloga, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

La propuesta está dentro del proyecto de investigación de la DIDE sobre la “Caracterización de fuentes hídricas superficiales en la Zona Andina del Río Pastaza, Ecuador” aprobada mediante Resolución UTA-CONIN-2022-0031-R

Autor: Ana Belén Moreano Panchi

Tutor: Dr-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

Ambato - Ecuador

Marzo - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final de Integración Curricular bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Titulación y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 10 de febrero del 2023

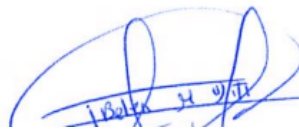
Dr-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

C.I. 1712283520

Tutor

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ana Belén Moreano Panchi, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ana Belén Moreano Panchi', is written over a horizontal line.

Ana Belén Moreano Panchi

C.I. 0504453713

Autora

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Por constancia firman:

.....

Presidente del tribunal

.....

Dr. Mario Daniel García Solís

C.I. 1103695471

.....

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

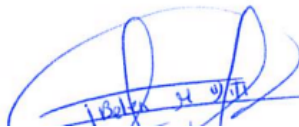
C.I. 1802706596

Ambato, 07 de marzo del 2023

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Ana Belén Moreano Panchi

C.I. 0504453713

Autora

DEDICATORIA

Todo este proceso académico se lo dedico a mis seres queridos, todos aquellos que han estado apoyándome desde el inicio de mi vida hasta la actualidad.

En especial, aquella mujer valiente, luchadora e inteligente, me ha enseñado a luchar por nuestras metas, por predicarme los valores que ahora tengo, por brindarme todo tu amor incondicional por ser la mujer que eres querida madre, a mi compañero de aventuras por enseñarme que en la vida siempre se cometen errores, pero lo importante es aprender de ellos, por todo el amor y cariño dedicado a nuestra hija y a mí. A la personita que ha llenado mi vida de alegrías, tristeza y sustos, por colmarme de felicidad y por darme el amor más puro del mundo, mi amada hija.

A mis abuelitos Herminia y Luis, por apoyarme en un momento muy difícil de la vida y por todo el amor incondicional que me dan. A mi querida tía Elva por confiar en mí y darme ánimos para seguir adelante. A mis Hermanos Jonathan, Ricardo y Ámbar. Y, por último, pero no menos impórtate a mi padre Milton que han sido el motor para seguir con mi carrera.

Con cariño Ana Belén

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por la vida y a la Universidad Técnica de Ambato por haberme dado la oportunidad de estudiar en tan noble institución.

Al Proyecto Canje de Deuda Ecuador-España “Fortalecimiento de la unidad operativa de investigación (FITA-UOITA)” Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por el préstamo de sus equipos.

A mi querida familia por su apoyo constante. Especialmente a mi amado esposo Boris, mi hija Arleth, mi madre Marina, mi tía Elvita y a mis abuelitos Herminia y Luis, gracias por su apoyo constante y por todo el amor que me han dado.

A mis hermanos y padre que me han enseñado varias cosas para afrontar la vida.

A mi tutor PhD. Rodny Peñafiel por su tiempo dedicado en el proceso de tesis y compartir sus conocimientos.

Y a mis compañeros de aulas por los buenos y malos momentos que hemos vivido, en especial, a Erick, Edith, Jenny, Samy, Kevin y Kasi.

Gracias por todo, Att: Ana Belén

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1. Calidad ambiental del agua	1
1.1.2. Factores que afecta la calidad del agua	2
1.1.3. Índice de calidad del agua	3
1.1.4. Características físicas, químicas y microbiológicos del agua	3
1.1.5. Contaminación de los ríos del Ecuador.....	8
1.1.6. Contaminación por metales pesados en el agua y sedimentos de los ríos de Ecuador	9
1.1.7. Sud-cuenca hídrica del río Ambato y su contaminación.....	9
1.1.8. Microcuenca del río Alajua.....	10
1.2. Objetivos.....	12
1.2.1. Objetivo general.....	12
1.2.2. Objetivos Específicos.....	12
CAPÍTULO II	13
METODOLOGÍA	13
2.1. Materiales	13
2.1.1. Equipos de laboratorio	13
2.1.2. Materiales de laboratorio.....	14

2.1.3.	Reactivos de laboratorio.....	15
2.1.4.	Materiales de protección personal.....	16
2.2.	Métodos	16
2.2.1.	Programa de monitoreo del Río Alajua.....	16
2.2.2.	Muestreo.....	17
2.2.4.	Detección de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio.....	22
2.2.5.	Determinación de conductividad y pH en sedimentos.....	28
2.2.6.	Determinación de metales pesados en muestras de agua y sedimentos. 28	
2.2.7.	Comparación los resultados de la caracterización de agua y sedimentos del Río Alajua con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.....	30
2.2.8.	Determinación de índice de calidad del agua.....	31
CAPÍTULO III.....		36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		36
3.1.	Análisis y discusión de los resultados	36
3.1.1.	Programa de monitoreo del río Alajua	36
3.1.2.	Determinación y comparación de la normativa TULSMA en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en muestras del agua.....	36
3.1.3.	Determinación de metales en muestras de agua.....	46
3.1.4.	Determinación y comparación de la normativa TULSMA de los metales pesado en sedimentos	49
3.1.5.	Determinación del índice de calidad del agua.....	52
CAPÍTULO IV.....		54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		54
4.1.	Conclusiones.....	54
4.2.	Recomendaciones	56
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		57

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Equipo de laboratorio</i>	13
Tabla 2. <i>Materiales de laboratorio</i>	14
Tabla 3. <i>Reactivos de laboratorio</i>	15
Tabla 4. <i>Materiales de protección personal</i>	16
Tabla 5. <i>Parámetros a analizar y conservación</i>	20
Tabla 6. <i>Parámetros de la determinación de metales pesados por absorción atómica – horno de grafito</i>	29
Tabla 7. <i>Jerarquización bibliográfica de la importación de las variables en el ICA – adaptación de la categorización de variables Dinius</i>	31
Tabla 8. <i>Criterio de evaluación de calidad de agua de NSF</i>	33
Tabla 9. <i>Parámetro de ICA-Dinius</i>	34
Tabla 10. <i>Rangos de evolución para el ICA - Dinius</i>	35
Tabla 11. <i>Determinación de parámetros in situ del río Alajua</i>	38
Tabla 12. <i>Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</i>	41
Tabla 13. <i>Comparación de los resultados de la caracterización de los sedimentos con los límites máximos permisible TULSMA tabla 3</i>	49
Tabla 14. <i>Valores del índice de calidad Dinius y n del agua del Río Alajua</i>	52
Tabla 15. <i>Concentración promedio de calcio y magnesio en muestras de agua</i>	69
Tabla 16. <i>Resultados promedios de metales de sedimentos en unidades mg/L y µg/L</i>	70
Tabla 17. <i>Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014</i>	71
Tabla 18. <i>Subíndices del ICA NSF</i>	75
Tabla 19. <i>Ajuste de factor de ponderación</i>	76
Tabla 20. <i>Obtención de subíndices para el cálculo de Dinius</i>	76
Tabla 21. <i>Resultados del subíndice elevado al factor de ponderación</i>	77

Índice de figuras

Figura 1. <i>Factores que afectan la calidad del agua.</i>	2
Figura 2. <i>Ubicación geográfica de la subcuenca del río Ambato.</i>	10
Figura 3. <i>Microcuenca del río Alajua</i>	11
Figura 4. <i>Puntos de muestreo de la cuenca alta y baja del río Alajua en Google Earth.</i>	17
Figura 5. <i>Análisis in situ en el campo de muestreo.</i>	18
Figura 6. <i>Recolección de muestras. (A) barra muestreador, (B) botella Vandor.</i>	19
Figura 7. <i>Procedimiento para la determinación de sulfatos</i>	23
Figura 8. <i>Procedimiento para la determinación de fosfatos</i>	23
Figura 9. <i>Procedimiento para la determinación de amonio</i>	24
Figura 10. <i>Procedimiento para la determinación de cloruros</i>	25
Figura 11. <i>Procedimiento para la determinación de calcio</i>	26
Figura 12. <i>Procedimiento para la determinación de magnesio</i>	26
Figura 13. <i>Colonias de coliformes fecales y totales.</i>	28

Índice de anexos

Anexo 1. <i>Insumos de protección personal</i>	67
Anexo 2. <i>Etiquetas</i>	67
Anexo 3. <i>Formato del documento de cadena de custodia.</i>	68
Anexo 4. <i>Determinación de dureza.</i>	69
Anexo 5. <i>Material preparado para el análisis microbiológicos y metodología de filtración por membrana</i>	69
Anexo 6. <i>Cálculo para la obtención de las unidades en mg/kg en las muestras de sedimentos</i>	70
Anexo 7. <i>Uso del GFASS para la medición metales en muestras de aguas y sedimentos.</i>	71
Anexo 8. <i>Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014.</i>	71
Anexo 9. <i>Creación de los subíndices para el cálculo del índice de calidad NSF Qi</i> 73	
Anexo 10. <i>Cálculo del índice de calidad NSF para el punto 1</i>	75
Anexo 11. <i>Cálculo del índice de calidad Dinius</i>	75
Anexo 12. <i>Zona alta de la microcuenca del río Alajua</i>	77
Anexo 13. <i>Vía Pungoloma -Quisapincha río Alajua</i>	78
Anexo 14. <i>200 m debajo de la vía Pungoloma - Quisapincha</i>	78
Anexo 15. <i>200 m aguas arriba de la planta de tratamiento EP-EMAPA Tilulum (zona Aguján)</i>	78
Anexo 16. <i>Planta de tratamiento EP-EMAPA Tilulum (zona Aguján)</i>	79

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la calidad del agua superficial y determinar los metales pesados en los sedimentos de la microcuenca del río Alajua mediante análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para lo cual, se realizó una campaña de muestreo determinando cinco puntos en la cuenca alta y baja del río. Los resultados de la caracterización de las muestras de agua y sedimentos se compararon con los límites máximos permisibles de la legislación ecuatoriana de la calidad ambiental (TULSMA). En todos los puntos de muestreo se detectó que los parámetros como el pH, conductividad, turbidez, sulfatos y nitratos en muestras de agua y los metales que no excedieron los límites en agua y sedimentos son Al, Cd, Cr, As y Ni. Sin embargo, se encontró altas concentraciones de Mn, Fe, Cu y Pb en la microcuenca alta y baja, sobrepasando los límites TULSMA. Los resultados del análisis microbiológico demostraron que todos los puntos presentaron niveles de coliformes totales y fecales. Los puntos más contaminados fueron desde el punto 3 (200 metros debajo de la vía Pungoloma – Quisapincha), punto 4 y 5 que se encuentran en el sector Aguaján. Con estos datos recolectados se ha calculado dos índices de calidad del agua NSF y Dinius. Al evaluar la calidad del agua del río con los dos índices de calidad, los tres puntos antes mencionados tuvieron una calificación regular para el consumo humano y aceptable para el regadío. Por lo tanto, se sugiere mantener un monitoreo constante de esta microcuenca.

Palabras claves: Gestión ambiental, calidad del agua, microcuenca del río Alajua límites TULSMA, sedimentos y metales pesados

ABSTRACT

This study aims to evaluate the quality of surface water and determine the heavy metals in the sediments of the Alajua River micro watershed through the analysis of physicochemical and microbiological parameters. Consequently, it made a sampling campaign and determined five points in the high and low watersheds of the river. The results obtained from characterizing the water and sediment samples were analyzed with the maximum allowable limits set by Ecuadorian environmental legislation (TULSMA). In addition, parameters such as pH and conductivity are monitored at all test points, turbidity, sulfates, and nitrates in the water test, and metals in water sediments did not exceed the following limits: Al, Cd, Cr, As, and Ni. However, high concentrations of Mn, Fe, Cu, and Pb were found in the upper and lower watershed, exceeding the TULSMA limits. The results of the microbiological analysis showed total and fecal contamination at all points. The most polluted points were point 3 (200 meters below the Pungoloma-Quisapincha road), point 4, and point 5, located in the Aguaján sector. Two water quality indices, NSF and Dinius, were calculated from the data collected. The assessment of the water quality in the river with the two water indicators indicated the three points mentioned earlier to be suitable for human beings and acceptable for agricultural irrigation. In conclusion, the continuous monitoring of this micro-watershed should be constant.

Keywords: Environmental management, water quality, Alajua river micro-basin, TULSMA limits, sediments and heavy metals

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1. Calidad ambiental del agua

La calidad del agua ambiental se refiere del agua natural sin procesar de agua superficial (ríos), aguas subterráneas y lagos, donde se presenta la combinación de influencias naturales y los impactos de todas las actividades antropogénicas **(ONU, 2018)**. La calidad ambiental y la disponibilidad del agua son signos de ecosistemas acuáticos saludables (ríos, lagos, agua costera, manglares). Esto ofrecerá a las comunidades locales servicios ecosistémicos que son los alimentos, energía, suministro de agua para el consumo (animales y humanos), biodiversidad y recreación **(Alexiades et al., 2019; Calle et al., 2018; Grizzetti et al., 2016)**.

No obstante, una mala calidad del agua genera problemas como amenazas de los medios de subsistencia y crecimiento socioeconómico **(Capparelli et al., 2021)**. Cuando la gestión del agua no es adecuada o la ausencia de la misma podría generar enfermedades como cólera, disentería, diarrea, tifoidea, hepatitis A o poliomielitis **(Kulinkina et al., 2016; OMS, 2019)**.

Los problemas a causa de una mala calidad del agua son más habituales en países en vías de desarrollo **(UNICEF, 2022)**. A menudo enfrentan escasez económica de agua debido a condiciones políticas, sociales, institucionales o financieras **(Suárez-Perales et al., 2021)**. Por otro lado, se espera que en el 2030 mejorar la calidad del agua, evitando la eliminación, desechos químicos y materiales peligrosos en ríos para reducir en un 50% la contaminación. Y aumentar la reutilización y el reciclaje de manera segura a nivel mundial. Todo esto se propone en la agenda 2030 **(ONU, 2018)**.

1.1.2. Factores que afecta la calidad del agua

La aplicación de fertilizantes y el procesamiento inadecuado de los desechos industriales son los dos principales impulsores antropogénicos de la contaminación del agua (Kayastha et al., 2022). Además, los sistemas sépticos, los productos químicos, la minería, los vertederos, los desechos animales y la escorrentía de las carreteras (figura 1). (Kumar et al., 2020; Shaji et al., 2021). Estos factores antropogénicos también causan cambios en el ciclo de los metales, permitiendo que exista un almacenamiento de los mismos en los sedimentos, convirtiéndose en contaminantes naturales (Birke et al., 2017).

Figura 1. Factores que afectan la calidad del agua.



También, las altas concentraciones de sedimentos suspendidos pueden dar lugar a aguas turbias, la asfixia y la erosión de los hábitats y la biota y la disminución de la penetración de la luz (Taylor & Owens, 2009). Asimismo, los metales, los contaminantes orgánicos persistentes (COP), los nutrientes y los microorganismos (patógenos) pueden unirse a estos sedimentos, proporcionando así una fuente de contaminación (Goos Timmerman, 2011). Estos contaminantes son motivo de preocupación porque son tóxicos para la flora y la fauna (Lintern et al., 2018).

1.1.3. Índice de calidad del agua

La gestión de la calidad del agua (CA) requiere la recopilación y el análisis de grandes conjuntos de datos de calidad del agua que pueden ser difíciles de evaluar y sintetizar. Se ha desarrollado una variedad de herramientas para evaluar los datos de CA; una de estas herramientas son los modelos del índice de calidad del agua (WQI, por sus siglas en inglés). El ICA se basan en funciones de agregación que permiten el estudio del conjunto de datos de calidad del agua para producir un valor único, es decir, el índice de calidad del agua, que indica en estado de contaminación de un cuerpo de agua (Uddin et al., 2021).

Son atractivos para las agencias de administración/suministro de agua, ya que son relativamente fáciles de usar y convierten conjuntos de datos complejos de calidad del agua en una medida de valor único de la calidad del agua que es fácil de entender. Un ICA generalmente comprende cuatro procesos o componentes. En primer lugar, se seleccionan los parámetros de interés de la calidad del agua. En segundo lugar, se obtienen las concentraciones de los parámetros seleccionados y se convierten en un subíndice adimensional de valor único (Uddin et al., 2021).

En tercer lugar, se define el factor de ponderación para los parámetros seleccionados. En cuarto lugar, se calcula un índice de calidad del agua de valor único final mediante una función de agregación utilizando los subíndices y factores de ponderación. Se han desarrollado muchos modelos ICA diferentes con variaciones en la estructura del modelo, los parámetros incluidos y sus ponderaciones asociadas, y los métodos utilizados para la sub indexación y agregación (Uddin et al., 2021).

1.1.4. Características físicas, químicas y microbiológicos del agua

Las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del agua determinan la calidad del agua. Por lo tanto, la calidad de las fuentes de agua naturales utilizadas para diferentes propósitos deben establecerse en términos de los parámetros específicos de calidad del agua que más afectan el posible uso del agua.

1.1.4.1. Características físicas: temperatura, turbidez, sólidos, conductividad y presión

Es básico monitorear los aspectos físicos para determinar la calidad del agua, estas características son identificadas por los sentidos: vista (turbidez, sólidos suspendidos y residuos flotantes), olfato (olor) y tacto (viscosidad, temperatura).

Temperatura: es una variable básica de la calidad del agua, ya que esta puede afectar características importantes del agua como capacidad térmica, densidad, peso específico, tensión superficial, conductividad específica, salinidad y solubilidad de los gases disueltos. Estas características se ven afectadas por la variación de la temperatura media anual que puede oscilar entre 10 a 21 °C, esta variación puede cambiar según la ubicación geográfica (**Duraisamy & Heydari, 2013**).

Otros aspectos que dependen de la temperatura del agua son la fotosíntesis de algas y varias plantas acuáticas, la sensibilidad a los desechos tóxicos, reproducción de animales acuáticos, la tasa metabólica, etc. Debido a que la temperatura afecta a varios parámetros, como se ha explicado anteriormente, como la solubilidad del oxígeno disuelto, ya que a mayor temperatura menor solubilidad (**Garcés & Pérez, 2021**).

Turbidez: es la medida de transmisión de luz a través del agua, puesto que se compone por varios materiales como materia suspendida, sólidos en suspensión y cargas microbianas. Cuando en los cuerpos de agua naturales se ve afectada la transparencia cuando existe actividad humana, floraciones de algas, sedimentos suspendidos y nutrientes vegetales (**Garcés & Pérez, 2021**).

Sólidos: El contenido total de sólidos del agua se define como el residuo que queda después de la evaporación del agua y el secado del residuo hasta un peso constante a una temperatura de 103 °C a 105 °C. Se considera que la fracción orgánica (o

contenido de sólidos volátiles) está relacionada con la pérdida de peso del residuo que queda después de la evaporación del agua y después de la ignición del residuo a una temperatura de 500 °C. Los sólidos volátiles se oxidarán a esta temperatura y serán expulsados como gas (Garcés & Pérez, 2021; Guachamin & Pérez, 2021).

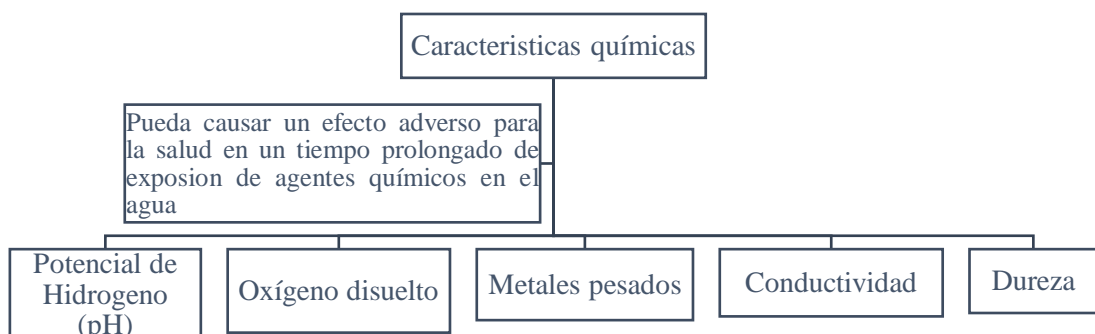
Los inorgánicos (o sólidos fijos) recuerdan a cenizas inertes. Los sólidos se clasifican en sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos filtrables. Los sólidos sedimentables (limos y sólidos orgánicos pesados) son los que sedimentan por fuerza de la gravedad. Los sólidos en suspensión y los sólidos filtrables se agrupan por el tamaño de las partículas que pueda su suspensión, ser retenidos en filtros de fibra de vidrio estándar (Garcés & Pérez, 2021).

1.1.4.2. Características químicas: potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, metales pesados y nutrientes

Las características químicas del agua natural son un reflejo de los suelos y rocas con los que el agua ha estado en contacto. Además, la escorrentía agrícola, las aguas residuales tratadas municipales e industriales afectan la calidad del agua. Las transformaciones microbianas y químicas también afectan las características químicas del agua (Guachamin & Pérez, 2021). En el diagrama 1 se puede observar las características que se analizarán en este trabajo.

Diagrama 1

Características químicas



Potencial de hidrógeno (pH): El potencial de hidrógeno es una escala numérica que indica la acidez o basicidad de una solución líquida. Es el negativo del logaritmo en base 10 de la actividad del ion hidrógeno (Al-Ghouti et al., 2019), las soluciones con un pH inferior a 7 son ácidas y las soluciones con un pH superior a 7 son básicas, el agua pura es neutra, a pH 7 (25 °C), no siendo ni un ácido ni una base (Al-Ghouti et al., 2019).

El cambio del pH en el agua es un indicativo de contaminación con sustancias que pueden alterar las concentraciones y ser tóxicas para el ambiente, por ejemplo: las sustancias que son más susceptibles al cambio de pH muy alto o bajo son el cloro para la desinfección, soluciones de amoníaco, etc.

Oxígeno disuelto: es el oxígeno gaseoso (O₂) que existe en una solución acuosa por la producción circundante del aire, movimientos rápidos o brusco del agua, permitiendo aireación y cuando existe presencia de algas en los efluentes los residuos de la fotosíntesis contribuyen al oxígeno disuelto. La mayor parte de organismos acuáticos sobreviven y crecen por el oxígeno que existe en el agua, pero si no existiera la presencia de este, la vida acuática reduciría creando un desequilibrio en el ecosistema (Al-Ghouti et al., 2019; Duraisamy & Heydari, 2013).

Metales pesados: El agua puede contener ciertos metales como Fe, Cd, Cu, Ni, Mn, As y otros. Sin embargo, las diferencias en el tipo, concentración y contenido químico de los metales están influenciados por la edad geológica y características, volumen de agua y composición química (Matta et al., 2015). Por lo general, manganeso y hierro se encuentran en el agua producida en concentraciones más altas que en el agua de mar.

Las concentraciones de metales pesados tienen un efecto sobre la calidad del agua, por lo tanto, causa problemas a la salud. La exposición a largo plazo a contaminantes cancerígenos y no cancerígenos como son los metales, incluso en niveles mínimos, puede tener consecuencias negativas para la salud (hipertensión, efectos respiratorios,

riesgo de cáncer, diabetes, problemas de la piel, etc.)(**Ghosh & Mukhopadhyay, 2018**).

La contaminación por arsénico (As) en el agua superficial es un problema mundial, el arsénico es responsable de una variedad de enfermedades neurológica, reproductivas, inmunológicas y cardiovasculares, así como enfermedades de consecuencias endocrinas, cáncer de pulmón y cáncer de piel (**Ghosh & Mukhopadhyay, 2018; Jha & Tripathi, 2021**). Similarmente, el cadmio (Cd) es uno de los metales traza más peligrosos que se encuentra en el agua superficial y mayormente es almacenado en los sedimentos, este metal es de origen volcánico (**Kubier et al., 2019**).

Conductividad: es la capacidad del agua de para corriente eléctrica que tiene unidades de medida $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto se debe a la presencia de sales disueltas o la presencia de sustancias orgánicas que tienen la capacidad de conducir corriente. Por ende, la conductividad es proporcional a la salinidad. Si en la fuente hídrica se encuentra con sustancias como compuestos orgánicos, esta tendrá una baja conductividad. Debido a que estas sustancias poseen baja capacidad conductora eléctrica (**Guachamin & Pérez, 2021; USEPA, 2022**).

Dureza: el agua posee varios minerales como el calcio y magnesio, la presencia de estos minerales son la dureza. La dureza del agua natural es una característica que mejora la palatabilidad para fines de consumo(**Guachamin & Pérez, 2021**).

1.1.4.3. Características microbiológicas: coliformes fecales y totales

Las características microbianas es una tipología de contaminación, ya que existen bacterias patógenas de heces de animales y humanos. Es difícil observar el crecimiento, tipo y cantidad de bacterias, protozoarios y virus en el agua, esto se debe por las bajas concentraciones. Es por ello, que el grupo estudiado en las características microbiológicas son los coliformes (**Garcés & Pérez, 2021**).

1.1.5. Contaminación de los ríos del Ecuador

En el planeta existe una gran preocupación por las descargas continuas de agua residuales sin tratar en el sistema hídrico, estos son más frecuente en país en vías de desarrollo donde las descargas de agua residuales domésticas y sanitarias son depositadas en ríos más cercanos. Actualmente, esto provoca un bajo rendimiento en la producción industrial y agrícola, de acuerdo con las Naciones Unidas en la División del agua a nivel mundial el 80% de las corrientes domésticas son descargadas directamente a ríos, lagos y zonas costeras sin tratamiento, y Ecuador no es una excepción (Almeida et al., 2014; ONU, 2011).

Este escenario representa un serio problema cuando se utiliza el agua superficial (ríos) como alternativa al agua potable, lo que actualmente ocurre en numerosas localidades del Ecuador. Adicionalmente, se ha reportado la contaminación de aguas superficiales por oligoelementos debido a insumos mineros o actividades industriales en varios ríos ubicados en el sur del Ecuador, específicamente en las localidades de Nambija, Portovelo-Zaruma y Ponce Enríquez. Debido al uso de cianuro en el procesamiento de minerales, se reportó la contaminación del agua en varias regiones del Ecuador, a través del mal manejo de los residuos mineros y conflictos relacionados con las regulaciones y políticas (Benítez et al., 2018).

Por otro lado, la capital del Ecuador posee una planta de tratamiento para aguas residuales (PTAR) en la parte sur de la ciudad, sin embargo, en los ríos Monjas y Machángara se desembocan un 97% efluentes domésticos sin tratamiento previo. Según estudios realizados por Voloshenko-Rossin et al. (2014) Sobre la calidad del agua y los contaminantes orgánicos en la cuenca de San Pedro–Guayllabamba–Esmeraldas. En 2020, un estudio evaluó la calidad de dieciocho ríos ubicados en Quito, identificándose los ríos Machángara y Monjas como los ríos más contaminados con base en a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Sin embargo, aún se sabe poco sobre la contaminación microbiana y química en los principales ríos de Ecuador (Benítez et al., 2018; Borja et al., 2020; Voloshenko-Rossin et al., 2014).

1.1.6. Contaminación por metales pesados en el agua y sedimentos de los ríos de Ecuador

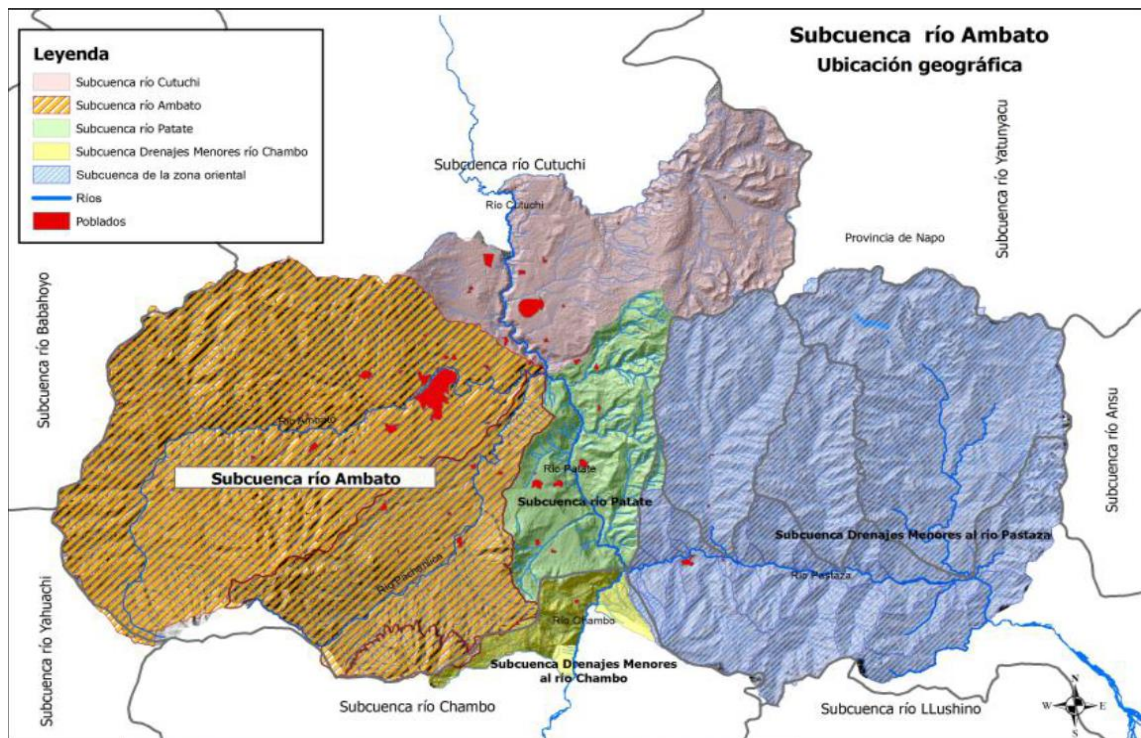
La legislación de Ecuador TULSMA regula los límites permisibles de varios contaminantes como metales pesados que contaminan el agua y suelo, en 2011 y 2015 se realizaron algunos estudios que demuestran la presencia de Pb, As y Cd en los suelos de Guayas y el Oro (**Chavez et al., 2015; Pozo et al., 2011**). En las tierras aledañas al río Quinuas ubicado en la provincia de Azuay se ha encontrado presencia de Pb en los cultivos (**Nicholas Hewitt & Candy, 1990**), la provincia de Esmeraldas se detectó contaminantes de Cr, Ni y Pb en muestras de agua del río Santiago y en muestra de suelos cercanos al río se encontró Ni y Cr, también, en el río Puyano ubicado en la misma provincia se comprobó altos niveles de Hg, Pb y Cd (**Cruz et al., 2015**). Por otro lado, en 2020 se realizó una investigación para determinar metales pesados en los principales ríos de Cotopaxi y Tungurahua donde se encontró Cr, Cd, As y Pb, estos metales sobrepasaron los límites permisibles de la legislación (TULSMA Y EPA) (**Sánchez et al., 2020**).

1.1.7. Sud-cuenca hídrica del río Ambato y su contaminación.

La ubicación de la sub cuenca del río Ambato es en la cordillera occidental, se encuentra delimitada por las sub cuencas del río cutuchi (norte), río Chambo (sur), ríos Cutuchi y Patate (este) y al oeste por los ríos Babahoyo y Yaguachi. Esta sub cuenca posee una superficie aproximadamente de 130.173, siendo un 38 % del total del territorio de la provincia(Pérez, 2015) como se puede observar en la figura 2. Siendo esta sub cuenca la principal fuente de agua de la provincia de Tungurahua, debido a que se utiliza en las zonas urbanas como rurales, ya sea para consumo, agricultura e industrial (Hermann, 2002).

Estas actividades antropológicas han afectado la calidad del agua de los principales ríos y quebradas de esta sub cuenca debido al mal tratamiento de aguas residuales, siendo un 95% de estas depositadas directamente a las fuentes hídricas sin un procesamiento adecuado (Hermann, 2002). La sub cuenca consta de 11 microcuencas hídricas, siendo las principales los ríos Ambato, Pachanlica, Alajua y Colorado.

Figura 2. Ubicación geográfica de la sub cuenca del río Ambato



Fuente: (Pérez, 2015)

1.1.8. Microcuenca del río Alajua

Esta microcuenca posee como unidad principal al río Ambato. Se origina en los páramos del volcán Casahuala con el nacimiento de la quebrada Calausi y la quebrada el Tingo con el nacimiento del río Pumagua. El río se encuentra a una altitud de 2,801 msnm y tiene una superficie de 123 km². Esta fuente hídrica es usada como fuente de captación de agua para el consumo humano y abastece a 7 zonas del cantón Ambato (Pérez, 2015).

Figura 3. Microcuenca del río Alajua



Fuente: (Pérez, 2015)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos en la microcuenca del río Alajua mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos para el análisis del grado de contaminación de la microcuenca.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos en muestras de agua superficiales de la microcuenca del río Alajua – subcuenca del río Ambato.

- Identificar la presencia de metales pesados en las muestras de agua superficial y sedimentos de la microcuenca río Alajua – subcuenca del río Ambato.

- Comparar los resultados de la caracterización de agua del río Alajua – subcuenca del río Ambato con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.

- Determinar la calidad del agua del río Alajua – subcuenca del río Ambato mediante el índice de calidad del agua (ICA).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Equipos de laboratorio

Tabla 1. *Equipo de laboratorio*

EQUIPOS	CANTIDAD
Incubadora Lab incubator	1
Autoclave	1
Cámara de flujo laminar Opti- mair	1
Equipo de campo y kit de sondas	1
Estufa (Horno Binder)	1
Balanza analítica	1
Refrigerador LG	1
Turbidímetro LaMotte	
Deseador	2
Bomba de vacío	
Equipo de filtración	1
Plancha de agitación	1
Reactor marca Hanna	1
Fotométrico multiparamétrico Hanna HI 83399	1
Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito	1
Digestor de microondas Ethos Up	1
Fotómetro multiparamétrico con DQO Hanna	1

2.1.2. Materiales de laboratorio

Tabla 2. *Materiales de laboratorio*

MATERIALES	CANTIDAD
Cápsulas	10
Papel filtro	2
Galones de aforo de 1000 ml	2
Gradillas para tubos de ensayo	1
Galones de aforo de 50 ml	10
Galones de aforo de 100 ml	10
Vasos de precipitación de 100 ml	5
Pipeta de 10 ml	3
Jeringas de 1 ml	5
Pipeta de 3ml	2
Cajas petri	45
Micropipetas	2
Puntas para micropipetas	50
Filtros de membrana de 0,45 μ m	100
Almohadillas absorbentes estériles	45
Matraces erlenmeyer de 250 ml	50
Filtros de acetato de celulosa de 0.45 μ m	50

2.1.3. Reactivos de laboratorio

Tabla 3. *Reactivos de laboratorio*

REACTIVOS	CANTIDAD
Ácido nítrico 65%	200L
Peróxido de hidrógeno	50 ml
Agua destilada	2 L
Kit de nitratos Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de sulfatos Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de fosfatos Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de amoníaco Hanna	1
Kit de determinación de cloruro Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de calcio Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de magnesio Hanna	1
Ampollas de caldo m-Endo1	60
Ampollas M-FC con ácido risólico	60
Agua tamponada estéril	100 g
Solución estándar de Cd	100 ml
Solución estándar de Ni	100 ml
Solución estándar de As	100 ml
Agua acidulada	2 L
Kit de determinación de cobre Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de manganeso Hanna	45 paquetes
Kit de determinación de hierro Hanna	45 paquetes

2.1.4. Materiales de protección personal

Tabla 4. *Materiales de protección personal*

Materiales de protección	Cantidad
Bata de laboratorio	1
Botas	1
Guantes de caucho	1
Guantes de latex	1

2.2. Métodos

2.2.1. Programa de monitoreo del Río Alajua

El programa se ejecutó con el objetivo de no causar alteraciones las condiciones naturales de las muestras. Para lo cual se realizó varios procesos, entre ellos se encuentra la toma de muestras, preservación y transporte en aguas superficiales y los sedimentos(NTE INEN 2226, 2013). Inicialmente, se hizo una lista de materiales y equipos que se usaron en el análisis in situ y en laboratorio. Toda la instrumentación se calibró antes de comenzar con el muestreo, también se verificó el material de protección personal (Anexo 1), con el fin de tener un muestreo efectivo(Gilbert & Manly, 2015).

Por otro lado, se necesitó cadenas de custodias y etiquetas pertinente para cada muestra (anexo 2 y 3 formatos). Las etiquetas y cadenas de custodia fueron impresas para tenerlas lista en el momento del muestreo, cada frasco fue etiquetado con un día de anticipación, para evitar cualquier confusión en la identificación de la muestra, estas etiquetas se protegieron con cita transparente para mantenerlas en buen estado en caso de salpicadura del agua o de los preservantes(Gilbert & Manly, 2015).

En el procedimiento de muestreo no se utilizó muestreador automático debido al costo y la dificultad del transporte, por lo cual, se procedió a realizar un muestreo manual con ayuda de personas capacitadas. Finalmente, para la preservación de muestras se

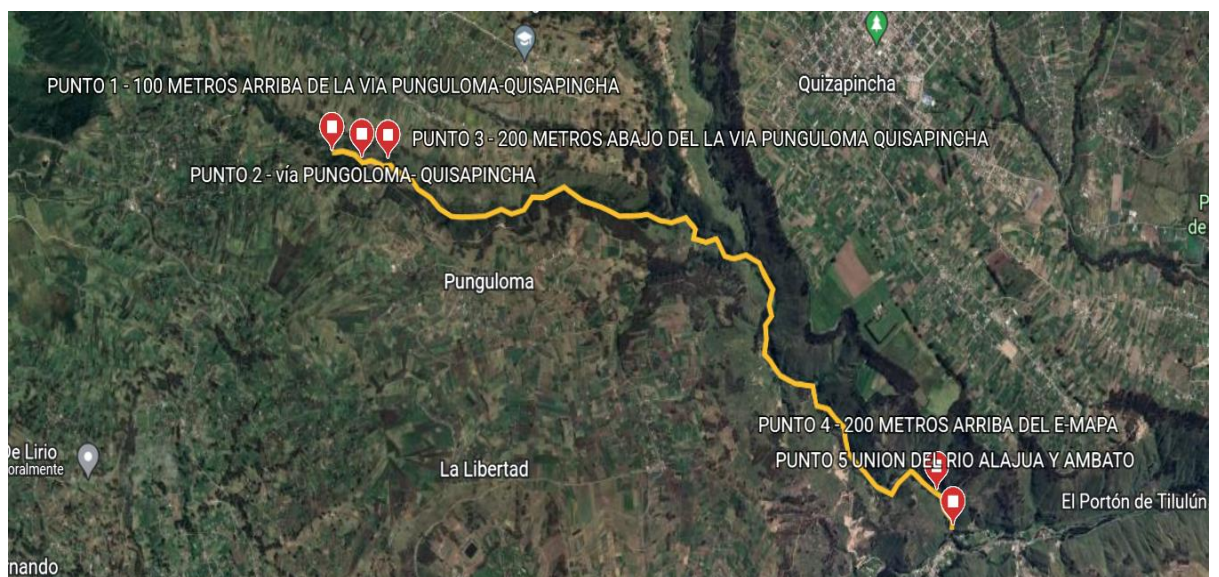
utilizaron preservantes según el parámetro a analizar, estos reactivos fueron manipulados con suma precaución con las medidas de seguridad necesarias. Además, se usó *coolers* con hielo para el transporte de las muestras y mantener la cadena de frío.

2.2.2. Muestreo

Se realizó una única campaña de muestreo de manera sistemática y ordenada en el mes de septiembre debido a que en este mes se presenta reducción del caudal de las microcuencas del río Ambato (Pérez, 2015). Ya que habrá mayor incidencia en la contaminación en la microcuenca del río Alajua. Se seleccionaron 5 puntos de muestreo en la microcuenca baja y alta del río Alajua como se muestra en la figura 4.

Una vez definidos los puntos de muestreo se recolectaron las muestras según la norma (NTE INEN 2176, 2013) “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras”. El muestreo será de tipo crítico, ya que se usará información previa sobre el sitio de muestreo, inspección visual o experiencia personal (Gilbert & Manly, 2015).

Figura 4. Puntos de muestreo de la cuenca alta y baja del río Alajua en Google Earth



2.2.3. Toma y recolección de muestras

El protocolo de muestreo de aguas superficiales y sedimentos fue basado en las normas **INEN 2226:2013** e **INEN 2176:2013**, cumpliendo el programa de muestreo. Primeramente, se procedió al llenado de las cadenas de custodia para cada muestra de acuerdo al sitio de muestreo, se toma las condiciones ambientales, coordenadas, valores de pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, temperatura y sólidos disueltos totales de manera in situ. Estos parámetros fueron analizados con el equipo multiparámetros, en primera instancia se sumergió la sonda en el cuerpo de agua para el análisis (figura 5). Una vez obtenido los datos se limpió la sonda con agua destilada y se secó con una toallita de papel.

Figura 5. *Análisis in situ en el campo de muestreo*



- Toma de muestra de agua

En cada punto de muestreo se recolectaron 3 muestras para cada análisis que se llevará a cabo. Inicialmente, se sumergió un envase de plásticos de polipropileno o polietileno previamente esterilizado (barra muestreador y botella Van dorn) (figura 6), de forma contraria al flujo hasta llenar por completo con una proporción de agua del cuerpo hídrico muestreado y se evitará la formación de burbujas de aire (**Coraspe & Tejera, 2018; NTE INEN 2176, 2013**).

Figura 6. Recolección de muestras. (A) barra muestreador, (B) botella Van dorn.



- **Toma de muestras de sedimentos**

Estas muestras se tomaron una por punto de muestreo y a nivel superficial en las orillas del cauce, mediante el uso de espátulas plásticas. Estos se guardarán en bolsas plásticas de polietileno con cierre hermético, se transportaron y almacenaron a temperatura ambiente (Vega, 2021).

2.2.3.1. Llenado de recipientes y preservación de muestras

- **Muestras microbiológicas**

Los frascos plásticos estériles se llenaron hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad para permitir aireación, a continuación, se tapó herméticamente cada frasco y se rotuló con la identificación de la muestra, fecha del muestreo, persona responsable y parámetros a analizar, para la preservación se usó *coolers* a 4 °C (Coraspe & Tejera, 2018; NTE INEN 2176, 2013).

- **Muestra de análisis químico (sulfatos, cloruro, demanda química de oxígeno)**

Para analizar trazas se usó recipientes de un litro, estos frascos se llenaron con una solución 1 mol/L ácido nítrico por 24 horas, seguidamente se enjuagará con agua destilada. Ya secos, los recipientes se utilizaron en la recolección de las muestras. Para lo cual, se llenaron hasta el ras con las muestras sin generar burbujas, se tapó herméticamente cada recipiente, finalmente se preservará las muestras en *coolers* a 4 °C (NTE INEN 2176, 2013).

- **Muestras para análisis de metales pesados**

Se agregó 1 ml de ácido nítrico al 65% en recipientes de polipropileno de 500 ml limpiadas para alcanzar un pH ~1. Después, se llenó hasta el ras con las muestras sin generar burbujas, seguidamente se procedió a tapar herméticamente cada recipiente. Las muestras se preservaron en *coolers* (Islam et al., 2015).

2.2.3.2. Transporte y almacenamiento de las muestras al laboratorio

Se verificó que los *coolers* tengas suficiente hielo para asegurar una refrigeración adecuada hasta llegar al laboratorio. Finalmente, se conservaron y almacenaron las muestras en un refrigerador y en la oscuridad, estas muestras no sobrepasaron los días de almacenamiento indicados en la norma NTE INEN 2169:2013 y el método estándar (Tabla 5) (Coraspe & Tejera, 2018; NTE INEN 2176, 2013).

Tabla 5. *Parámetros a analizar y conservación*

Parámetros		Volumen de muestra	Conservación	Tiempo de conservación
Potencial de hidrógeno	pH	-	-	-
Conductividad	μS/cm	-	Refrigerar	-
Turbidez		-	-	-
Oxígeno disuelto	OD	-	-	-
Sólidos totales	SST	1000 mL	Refrigerar	7 d
Sólidos disueltos	SDT	-	-	-

Nitratos	NO_2^-	1000 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	48h/28d
Fosfatos	$(\text{PO}_4)^{3-}$	1000 mL	Refrigerar	7d/28d
Amonio	NH_4^-	1000 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	28 d
Cloruro		1000 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	28 d
Sulfato	SO_4^{-2}	1000 mL	Refrigerar	28d
Calcio	Ca^{+2}	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	28d
Magnesio	Mg^{+3}	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Coliformes fecales	totales y UFC/100ml	300 mL	Refrigerar	2h
Cobre	Cu^{+2}	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Manganeso	Mn	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Arsénico	As	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Cadmio	Cd	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Níquel	Ni	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Hierro	Fe	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Aluminio	Al	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Cromo	Cr	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses
Plomo	Pb	500 mL	HNO_3 hasta pH<2 refrigerar	6 meses

Fuente: (Garcés & Pérez, 2021)

2.2.4. Detección de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio

- Demanda química de oxígeno

Tratamiento de la muestra

Blancos: agregar 2,5 ml de agua ultrapura en un vial con reactivo COD 93754C0 y tapar para mezclarlo por inversión por 30 s.

Muestra: agregar lentamente 2,5 ml de muestra en un vial con reactivo COD 93754C0 y tapar el vial para mezclarlo por inversión por 30 s.

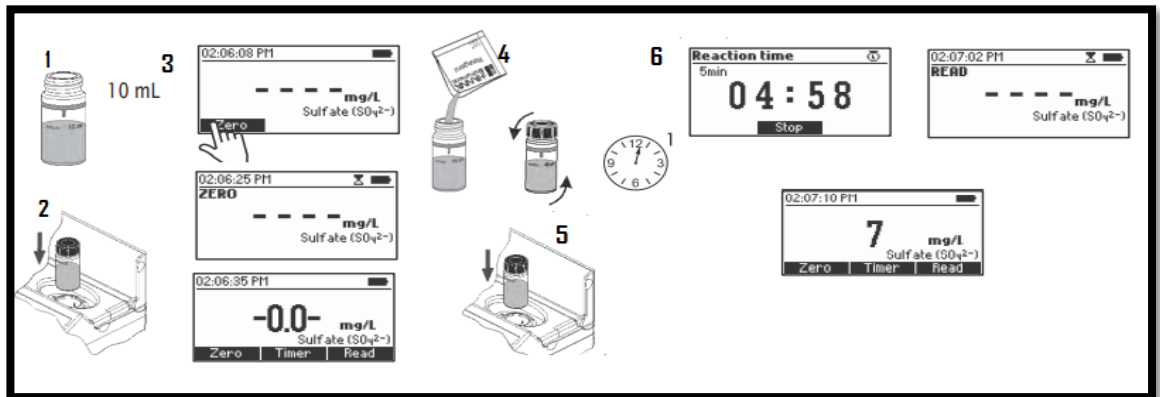
- Digestión de la muestra

Introducir los viales preparados en un reactor previamente precalentado a una temperatura de 150 °C para la digestión blancos y muestras por un tiempo de 2 horas. Después de 20 min sacar los viales e invertir y dejar enfriar hasta temperatura. Utilizar el equipo fotométrico multiparamétrico para realizar la medición. Seguidamente, colocar el vial del blanco en el equipo y se presionó la tecla *zero*, una vez encerrado en equipo introducir el vial con la muestra para realizar la lectura de los resultados (**Hanna, 2020**).

- Determinación de sulfatos

Seleccionar el método amonio HR en el equipo HI 83399 fotométrico multiparamétrico, después, colocar 10 ml de muestra sin reaccionada en la cubeta. De inmediato, colocar la cubeta en la celda del instrumento y encerrar. Añadir paquete del reactivo sulfato HI 93751-0 en la cubeta y mezclar 1 min). Esperar el tiempo de reacción de 5 min. Luego, realizar la lectura en mg/L de sulfato SO_4^{-2} (**Hanna, 2020**) ver figura 7.

Figura 7. Procedimiento para la determinación de sulfatos

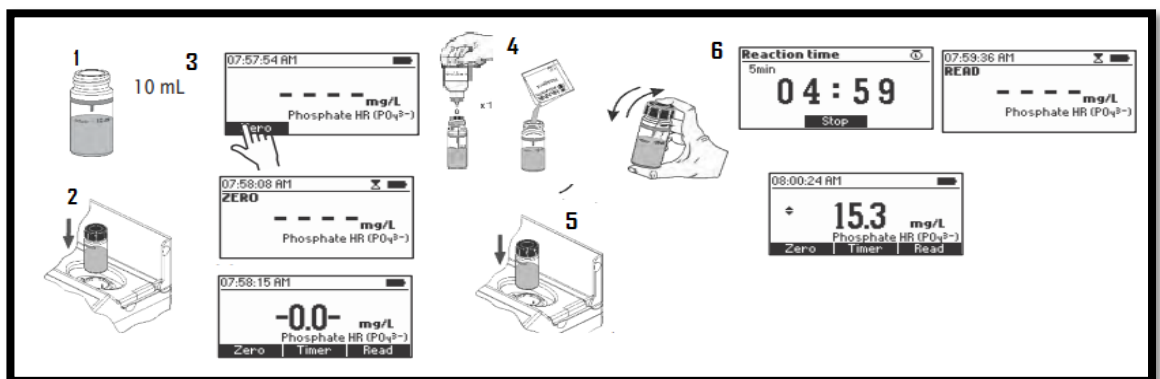


Fuente: modificado (Hanna, 2020).

- **Determinación de fosfatos**

Seleccionar el método fosfato HR en el equipo fotométrico multiparamétrico. A continuación, agregar 10 mL de muestras sin reaccionar en la cubeta y tarar en equipo. Después, retirar la cubeta del instrumento y añadir 10 gotas del reactivo de rango alto A HI 93717A-0 y 1 paquete del reactivo fosfato HR B HI 93717B-0, tapar y agitar suavemente hasta que se disuelva por completo. Esperar un tiempo de 5 min para proceder con la lectura en mg/L de fosfato (PO_4^{-3}) (Hanna, 2020) ver figura 8.

Figura 8. Procedimiento para la determinación de fosfatos

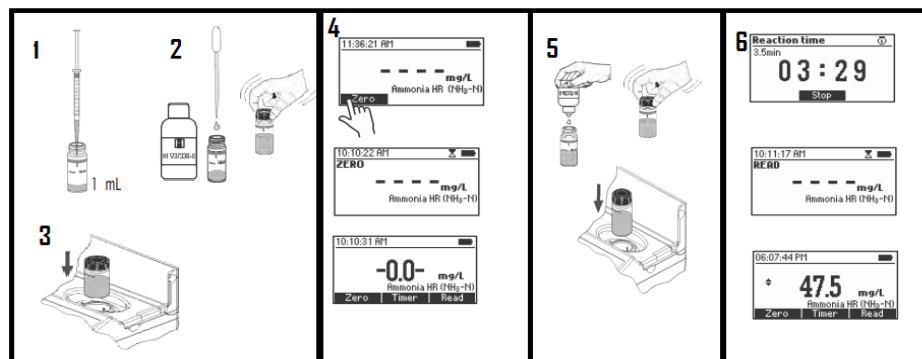


Fuente: modificado (Hanna, 2020).

- Determinación de amonio

Seleccionar el método amonio HR en el equipo fotométrico multiparamétrico, posteriormente, añadir 1 ml de la muestra sin reaccionada en la cubeta utilizando de una jeringa y aforar la cubeta hasta 10 ml con el reactivo amoniaco B (alto rango HI 93733B.0). Seguidamente, transferir la cubeta a la celda del equipo y encerrar. Retirar la cubeta de la celda y agregar 4 gotas de reactivo HI 93733A-0 en la cubeta. Colocar nuevamente la cubeta en el equipo y presionar el temporizador (timer) en 3min y 30 s, finalmente, el equipo mostrará los resultados en mg/L de nitrógeno amoniacal (NH_3 -N) (Hanna, 2020) ver figura 9.

Figura 9. Procedimiento para la determinación de amonio



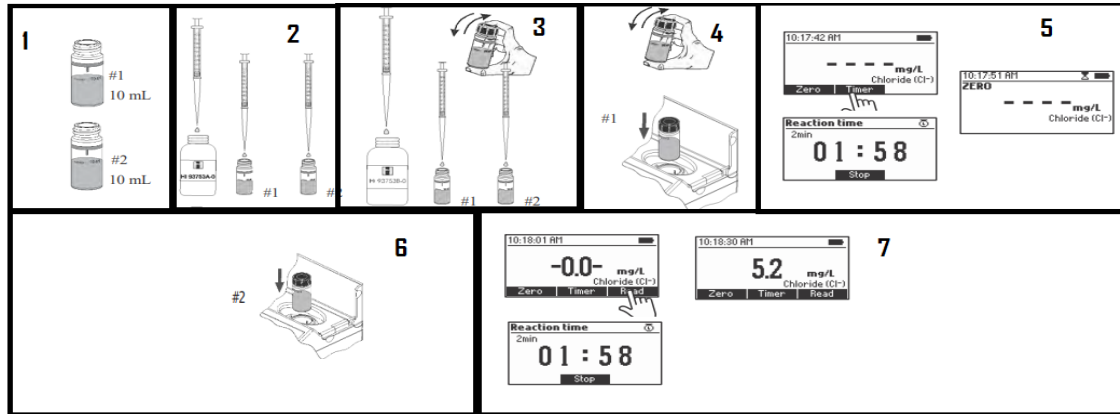
Fuente: modificado (Hanna, 2020).

- Determinación de cloruros

En 1 cubetas agregar 10 mL de agua desionizada (blanco) y en una segunda 10 ml de la muestra con ayuda de 2 pipetas volumétricas (*ver nota 1*). Después, Añadir en las cubetas 0.5 ml del reactivo cloruro A HI 93753A-0 y mezclar. A continuación, añadir en las cubetas 0.5 ml del reactivo cloruro B HI 93753B-0 y mezclar por 30 s. Esperar el tiempo de reacción de 2 min y colocar el blanco en la celda del equipo para presionar el *zero*. Finalmente, retirar la cubeta del blanco e insertar la segunda cubeta (muestra) en el equipo para comenzar la lectura de las muestras. El instrumento muestra los resultados en mg/L de cloruro (Cl^-) (Hanna, 2020) ver figura 10.

Nota 1: Para muestras con baja concentración de iones de cloruro, enjuague la cubeta varias veces con un poco de la muestra antes de llenarla con 10 ml de muestra (Hanna, 2020).

Figura 10. Procedimiento para la determinación de cloruros

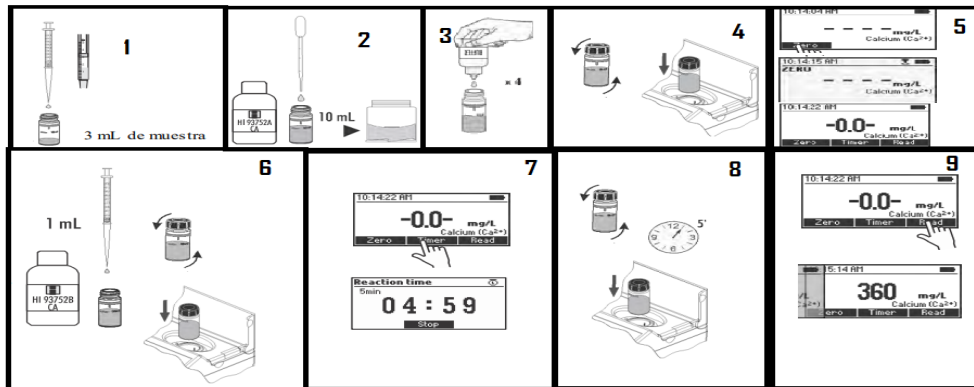


Fuente: modificado (Hanna, 2020).

- **Determinación de calcio**

Seleccionar el método calcio en el equipo fotométrico multiparamétrico. Acto seguido, añadir 3 mL de muestra en la cubeta y aforar hasta 10 mL con el reactivo calcio A HI 93752A-Ca, seguidamente agregar 4 gotas del reactivo solución tampón y mezclar por 30 s. Colocar la cubeta en la celda para proceder a encerrar. A continuación, agregar 1 mL de reactivo calcio HI 93752B-Ca y mezclar por 15 s, esperar el tiempo de reacción 5 min. Por último, mezclar nuevamente por 15 s y colocar la cubeta en el instrumento para comenzar la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/L de calcio (Ca^{2+}) (Hanna, 2020) (figura 11).

Figura 11. Procedimiento para la determinación de calcio

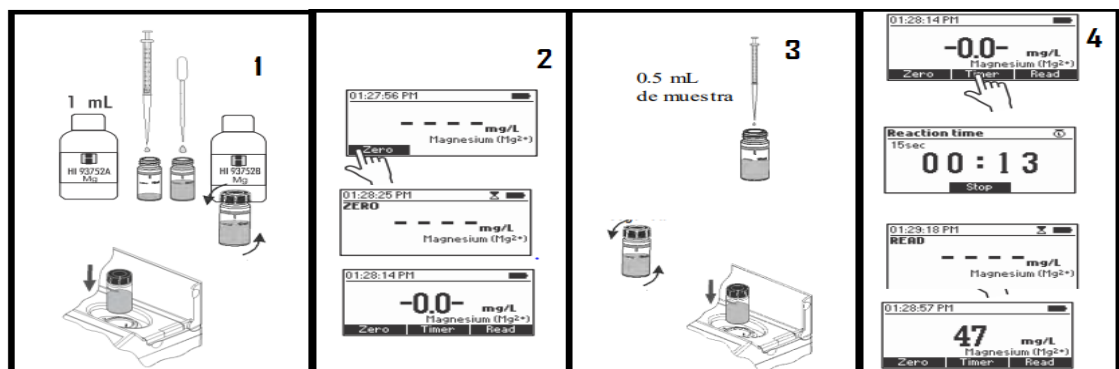


Fuente: modificado (Hanna, 2020).

- **Determinación de magnesio**

Seleccionar el método magnesio en el equipo HI fotométrico multiparamétrico. Luego, agregar a la cubeta 1 mL del reactivo magnesio A HI 93752A y aforar hasta 10 mL con el reactivo magnesio HI 93752B-Mg y mezclar. Colocar la cubeta en la celda del instrumento y presionar la tecla *zero*. Seguidamente, retirar la cubeta del instrumento y añadir 0.5 mL de muestra a la cubeta (invertir para mezclar). Colocar de nuevo la cubeta en el instrumento y presionar el temporizador (Timer) por 15 s, una vez transcurrido el tiempo, realizar la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/L de magnesio (Mg²⁺) (Hanna, 2020) (figura 12).

Figura 12. Procedimiento para la determinación de magnesio



Fuente: modificado (Hanna, 2020).

- **Determinación de dureza.**

Para la determinación de dureza permanente total en las muestras de agua (CaCO_3) se calculó con la siguiente fórmula (anexo 4) (Pal et al., 2018):

$$\text{Dureza permanente total} = 2.5(\text{Ca}^{+2}) + 4.1(\text{Mg}^{+2}) \quad (1)$$

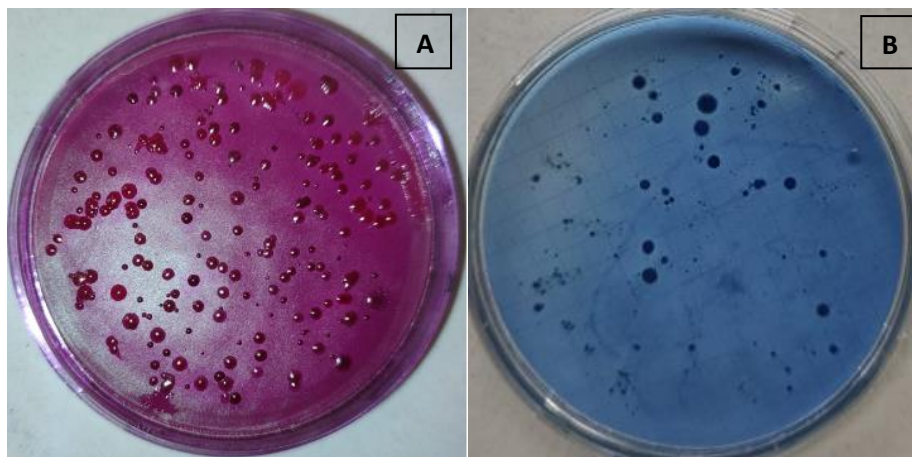
- **Determinación de coliformes fecales y totales**

Se utilizó el método de filtrado de membrana (MF), ya que es una forma rápida y simple de estimar poblaciones bacterianas en el agua. Por lo tanto, se inició con diluciones, para lo cual se agitó los recipientes con muestras por un tiempo de 30 s para evitar sedimentaciones, seguidamente se diluyó las muestras con agua tamponada estéril para obtener diluciones seriadas de 10^{-1} hasta 10^{-3} de todas las muestras (Plúas, 2018).

Luego, se filtró 100 ml de cada dilución con ayuda de una bomba de vacío usando filtros de membranas de $0,45\mu\text{m}$, se enjuagaron las paredes del embudo con agua tamponada estéril. Una vez vacío el embudo se procedió a apagar el equipo y se transfirió los filtros de membrana con pinzas estériles a cajas Petri con caldo m-Endo y la almohadilla absorbente estéril previamente preparada para coliformes totales, se tiene que evitar la formación de burbujas de aire atrapadas debajo del filtro (anexo 5) (Plúas, 2018).

Se realizó el mismo procedimiento para la detención de coliformes fecales, pero en este caso se usó un medio selectivo de M-FC con ácido risólico. Seguidamente, se colocaron las tapas de las cajas y se incubará de manera invertida a 37°C por 24 horas. A continuación, se seleccionó las cajas con conteos inferiores a de 30 a 300 UFC con coloraciones de colonias rojas para coliformes totales y una tonalidad azul violáceo para coliformes fecales (figura 13). (Pérez et al., 2018). Luego se realizó el recuento de colonias (ufc/ml) utilizando un cuenta colonias (Plúas, 2018).

Figura 13. Colonias de coliformes fecales y totales.



Nota: los filtros de membrana (A) caldo m-Endo con coliformes totales, (B) M-FC con ácido risólico con coliformes fecales.

2.2.5. Determinación de conductividad y pH en sedimentos

Se modificó la metodología descrita por Romero et al., (2019). En un vaso de precipitación de 1000 mL, se pesó 200 g de sedimento y se agregó 500 mL de agua destilada. Por 30 min se agitó para mantener las partículas suspendidas, terminado el tiempo de agitación se procedió a medir la conductividad y el pH con el fotómetro portátil Hanna.

2.2.6. Determinación de metales pesados en muestras de agua y sedimentos.

- Digestión de las muestras de sedimentos

Esta digestión se realizó por medio del método USEPA 3051 para digestión a través de microondas. Se pesó 5 gramos de muestra en crisoles, los cuales se introdujeron a incubar a 105 °C por 24 horas. Las muestras secas se pulverizaron y se pesó 0.5 g de muestra en una balanza analítica, el gramaje indicado de muestra se trasladó a los tubos del digestor. Para agregar 5 ml de HNO₃ concentrado y 1 ml de peróxido de hidrógeno 30% (V/V) dentro de los tubos y se procedió a la digestión por microondas mediante 1 hora. Posteriormente, se dejó reposar por 10 min después de la digestión.

Una vez digeridas las muestras, los volúmenes restantes de las muestras acidificadas fueron filtradas para eliminar los residuos sólidos y se trasvasó a balones aforados de 100 ml y se almacenó en recipientes plásticos a 5 °C hasta su análisis (U.S.EPA, 2007; Vega, 2021). Las disoluciones ácidas resultantes fueron analizadas por medio de espectrometría de absorción atómica como si fueran muestra de agua. Finalmente, se transforma esta concentración a fase de sedimento, la que se expresó en unidades de mg/kg_{sedimento seco} (anexo 6).

2.2.6.1. Método de absorción atómica en horno de grafito para muestras de agua y sedimentos.

- Procedimiento de preparación de estándares para la curva de calibración Cd, Ni, As y Pb

Para la determinación de metales se tomó en cuenta la programación de temperatura y la longitud de onda sugeridas en el *Analytical Cookbook PG Instruments* del Espectrofotómetro de Absorción Atómica AA500 (Arango, 2020). Se preparó las rectas de calibración, utilizando patrones comerciales (1000 mg/L) para los metales pesados según los rangos indicados en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. *Parámetros de la determinación de metales pesados por absorción atómica – horno de grafito*

Metal	Rango de recta de calibración (ppb)	Longitud de onda (nm)	Límite de detección (ppb)
Cadmio (Cd)	0 – 50	228.80	0.01
Arsénico (As)	0 – 150	193.70	0.33
Níquel (Ni)	0 - 300	232.0	0.065
Plomo (Pb)	0-200	217	0.012

Fuente: (PG Instruments, n.d.)

- **Procedimiento de análisis**

Las muestras se filtraron a través de filtros de acetato de celulosa de 0.45 μm . Seguidamente, las muestras filtradas se inyectaron en el tubo de grafito automáticamente un volumen máximo de 10 uL. Luego se procedió analizar las muestras con las principales operaciones, secado, incineración y atomización del programa de calentamiento. Las mediciones se ha realizado por triplicado y se procedió a la lectura en el espectrofotómetro de la absorbancia vs concentración en mg/L (anexo 7)(Arango, 2020; Castaño & Robledo, 2012).

2.2.6.2. Método fotométrico para la determinación de metales pesados, muestras de aguas y sedimentos

Este método se utilizó para determinación de los siguientes metales pesados Cu^{+2} , Mn, Fe, Cr^{+6} y Al^{+3} en las muestras de agua y sedimentos. Por lo cual, se siguió la metodología indicada en el manual de Hanna HI 83399, respetando los reactivos de cada y tiempos reacción para cada metal y obteniendo en los resultados unidades de mg/L (Hanna, 2020).

2.2.7. Comparación los resultados de la caracterización de agua y sedimentos del Río Alajua con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.







Los valores de la caracterización se revisó del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en Ecuador para comparar los rangos de clasificación de la calidad del agua, tomando en cuenta los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (Núñez, 2015) (anexo 8).

2.2.8. Determinación de índice de calidad del agua

Al momento de seleccionar los parámetros para la evaluación los índices de calidad, se realizó un análisis bibliográfico. Según la metodología desarrollada por Dinius y Bronwt, describen que si se respeta las categorías de las variables y jerarquización, las diferencia de índices no son críticas (tabla 7) (Torres et al., 2018).

Tabla 7. Jerarquización bibliográfica de la importación de las variables en el ICA – adaptación de la categorización de variables Dinius

No	Variable	Total (%)
1	DBO	80
2	OD	79
3	CF	79
4	NO ₃	77
5	Conductividad	76
6	Temperatura	70
7	N-NH ₃	61
8	Aceites y Grasas	61
9	DQO	55
10	Detergentes	55
11	CT	53
12	P-PO ₄	47

	Agotamiento/Nivel de Oxígeno – materia orgánica		Afectación o Peligrosidad de la salud
	Sustancias Disueltas – Material Iónico		Afectación a la vida acuática – Eutrofización
	Características físicas – Afectación al sabor u olor a paraciencia del agua		Contaminantes específicos

Fuente:(Torres et al., 2018)

Se empleó dos índices de calidad Dinius y de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos, el primero considera 12 parámetros y con seis usos del agua en la evaluación, uso agrícola, industrial, recreativo, pesca y consumo humano. En cambio, con el siguiente índice se considera 9 parámetros y el criterio de evaluación se considera de manera general y para el consumo humano (Flores, 2022).

2.2.8.1. Fundación Nacional de Saneamiento ICA (NSF)

El ICA-NSF fue desarrollado por Brown en 1965 como una versión modificada del modelo de Horton. Se ha utilizado para evaluar la calidad del agua superficial. Al igual que el modelo de Horton, contiene los cuatro componentes básicos del ICA (Abrahão et al., 2007).

Selección de parámetros

La técnica Delphi se usa para seleccionar los parámetros de calidad del agua. El índice NSF propone nueve parámetros de calidad del agua divididos en cuatro grupos: los parámetros químicos (oxígeno disuelto y pH), los parámetros físicos (temperatura, turbidez y sólidos totales), los parámetros de nutrientes (fosfato total y nitratos) y los parámetros microbiológicos (coliformes fecales y DBO) (Abrahão et al., 2007; Uddin et al., 2021).

Generación de subíndices

La subindexación de parámetros se basó en el juicio de un panel de expertos. Los valores del subíndice variaron de 0 a 1, donde el valor del subíndice se consideró 1 cuando se encontró que el valor medido estaba dentro de los valores recomendados de la guía y 0 en caso contrario (anexo 9).

Ponderación de parámetros

El modelo utiliza valores de peso de parámetros desiguales que suman 1. Los valores de peso originales se obtuvieron empleando un panel de expertos, pero las aplicaciones posteriores del modelo han usado valores de peso modificados para evaluar la calidad del agua superficial. El modelo NSF original prescribía valores de peso para OD (0,17), FC (0,16), pH (0,11), DBO (0,11), temperatura (0,10), fosfato total (0,10), nitratos (0,10), turbidez (0,08) y sólidos (0,07). De manera similar, este modelo también consideró la importancia ambiental de los parámetros de calidad del agua para asignar el valor de peso del parámetro (Uddin et al., 2021).

Agregación

El modelo NSF original usaba una función de agregación aditiva simple como la ecuación (1). En 1973, Brown propuso una función de agregación alternativa (Uddin et al., 2021) (Ejemplo de cálculo anexo 10).

$$ICA-NSF = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \quad (2)$$

Donde:






Q_i : Subíndice de calidad para el parámetro i

W_i : Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = número total de parámetros

El modelo genera un ICA que varía de 0 a 100. 0 indica la peor calidad del agua y 100 indica una excelente calidad del agua. El modelo proponía cinco clases de calidad del agua:

Tabla 8. *Criterio de evaluación de calidad de agua de NSF*

Evaluación	Valor	Color
Excelente	90 – 100	
Bueno	70 – 89	
Medio	50 – 69	
Malo	25 – 49	
Muy malo	0 - 24	

Fuente: (Torres et al., 2018)

2.2.8.2. Índice de calidad de Dinius

La segunda metodología descrita por Dinius determina la calidad del agua de la muestra según el grado de contaminación del agua. Así, tendrá un índice de calidad cercano a 0 para aguas totalmente contaminadas. El índice será 100 para aguas con excelentes condiciones. Posteriormente, este índice indica que se debe hacer una corrección a los resultados. Cada parámetro tiene un valor de ponderación de W que

permite obtener el ICA correspondiente (Guananga-Diaz et al., 2022); el peso de cada parámetro se da en la tabla 9.

Tabla 9. *Parámetro de ICA-Dinius*

Parámetros	Ecuaciones para Qi	Wi
Oxígeno disuelto	$0,82*OD + 10,56$	0.109
Demanda bioquímica del oxígeno	$108(DBO)^{-0,3494}$	0.097
Coliformes totales	$136(CT)^{-0,1311}$	0.090
Coliformes fecales	$106(CF)^{-0,1286}$	0.116
Conductividad	$506(Cond)^{-0,3315}$	0.079
Cloruros	$391*(CL)^{-0,3480}$	0.074
Dureza	$552*(Dureza)^{-0,4488}$	0.065
Alcalinidad	$110*(Alc)^{-0,1342}$	0.063
pH < 6.9	$10^{0,6803+0,1856(pH)}$	
pH = 6.9 – 7.1	1	0.077
pH > 7.1	$10^{3,65+0,2216(pH)}$	
Nitratos	$125*(N)^{-0,2718}$	0.09
Color	$127*(Color)^{-0,2394}$	0.063
Temperatura	$10^{2,004-0,382*(TA-TAGUA)}$	0.077

Fuente: (Guananga-Diaz et al., 2022)

La evaluación numérica del ICA-Dinius se obtiene a partir de la media geométrica en función multiplicativa que se muestra en la ecuación (2)

$$ICA - Dinius = \prod_{i=1}^n [Qi^{Wi}] \quad (3)$$

Donde:


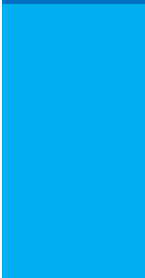
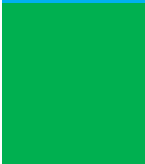



Si: Subíndice de calidad para el parámetro i

Wi: Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = número total de parámetros.

Wi son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, por lo que la suma es igual a 1. Qi es la calidad del parámetro, que depende de su concentración, y se califica de 0 a 100 (Ejemplo de cálculo anexo 11) (**Guananga-Diaz et al., 2022**).

Tabla 10. Rangos de evolución para el ICA - Dinius

Tipo de uso	Color	Rango de evaluación	Descripción	Tratamiento
Uso en agricultura		90 – 100	Excelente	No necesita tratamiento
		79 – 90	Aceptable	Se necesita una purificación menor para cultivos que requieren agua de alta calidad.
		50 – 79	Levemente contaminado	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
		30 – 50	Contaminado	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
		20 – 30	Altamente contaminado	Usar solo en cultivos muy resistentes
		0 – 20	Excesivamente contaminado	Inaceptable para el riego

Fuentes: (**Guananga-Diaz et al., 2022**)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Programa de monitoreo del río Alajua

Este programa consistió en determinar de la calidad del agua de la microcuenca del río Alajua, en una campaña de muestreo que se llevó a cabo el 9 y 15 de septiembre del 2022, en ambos días se realizó la recolección de muestras a las 13 pm hasta 16 pm. Y se identificó las 5 ubicaciones en la microcuenca alta y baja del río, dando inicio en el punto 1 zona alta del río Alajua a 3244 m donde hubo presencia de bosque y el río está dentro de una quebrada (anexo 12). Punto 2 en la vía Pumgoloma - Quisapincha a 3236 m, las actividades de que pudo evidenciar en esta zona fue la presencia de áreas de cultivo (anexo 13). Punto 3 se tomó a 200 m aguas debajo de la vía Pumgoloma - Quisapincha, en este sector se encontró pastizales para ganado, áreas de cultivo, áreas recreativas como pesca deportiva y presencia de bosque (anexo 14). Punto 4 fue a 200 hacia arriba de la planta de tratamiento E-MAPA a 2788 m, se evidenció la deforestación alrededor de la zona (anexo 15). Y por último, el punto 5 en planta de tratamiento EP-EMAPA Tiluluma 2784 m, hubo la presencia de descargue de agua, zona de cultivo de frutas y cerca de la unión de los ríos Alajua y Ambato (anexo 16).

3.1.2. Determinación y comparación de la normativa TULSMA en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en muestras del agua

- Oxígeno disuelto y temperatura en muestras de agua

La concentración de oxígeno disuelto (OD) supera al 80 % de saturación (tabla 11 y 12) como indica la norma según el criterio de vida acuática, teniendo una sobresaturación mayor al 100%, lo cual muestra la presencia de productores primarios de oxígeno como fitoplancton o algas. Estos organismos se desarrollan gracias niveles adecuados de nutrientes y a la disponibilidad de la luz (**Bozorg-Haddad et al., 2021**). Además, la saturación de oxígeno se ve afecta por factores naturales del río como la temperatura que es inversamente proporcional a la OD, el movimiento y la agitación constante del agua.

Por otro lado, según el criterio de calidad de agua para riego agrícola, indica que el OD debe sobrepasar de 3 mg/L. En los 5 puntos muestreados se obtuvieron valores de 8.38 a 9.82 mg/L, estos niveles son favorables en el río agrícola ya que el oxígeno es necesario para evitar hipoxia radicular en la planta, si existe falta del OD genera la falta de crecimiento, muerte de raíces y crecimiento de raíces adventicias en la planta (**Ouyang et al., 2021**).

Un estudio realizado por **Ouyang et al. (2020)** demostró que una concentración de 9 mg/L de OD en el agua de riego aumentó indirectamente el contenido de oxígeno en el suelo (COS), mejoró el entorno del suelo y promovió el crecimiento de las plantas. Además, el aumento del COS promovió un aumento en el contenido de clorofila en cierta medida, y mejoró la fotosíntesis, que es beneficiosa para la acumulación de materia seca. El aumento del COS también mejoró la absorción de nutrientes y agua del suelo por parte de las raíces de las plantas de tomate.

Con respecto a los valores de variación de la temperatura (TEMP) se deben a los días de muestreo, el primer y segundo lugar de muestreo se realizó el 9 de septiembre que se tuvo una temperatura ambiental (TA) de 15 °C. Por otro lado, el 15 de septiembre se muestreó los puntos 3, 2 y 1 teniendo TA de 19-17 °C, estas condiciones ambientales han influido en la temperatura del agua. Sin embargo, la TEMP no sobrepasado los límites establecidos por la legislación (TULSMA) Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Estos resultados se pueden comparar con otras investigaciones realizadas en ríos de la sierra centro ecuatoriana. Para obtener una vista general de contaminación con respecto a varios parámetros.

En 2022 se publicó un estudio del de la influencia de las actividades antropogénicas en la calidad del río Ambato, en esta investigación la TEMP osciló entre 14.74 a 18.05 °C y los valores del OD fueron 0.227 a 1.62 mg/L. Aunque la temperatura se encuentra dentro del límite es alta, es por ello que la OD están por debajo de la norma permisible para la vida acuática y regadío (**Pérez Aldas et al., 2022**). Ya que la solubilidad del

oxígeno es baja en un aumento de TEMP, también existe la falta de OD en este río debido a la presencia de contaminación antropogénica, especialmente en la cuenca media y baja. Por lo que hay carencia de vida acuática en estas zonas (**Pérez Aldas et al., 2022**).

Sin embargo, la zona media es de valles planos y el uso de suelos y agua principalmente es para cultivos y actividad agrícola. Asimismo, en un estudio realizado por **Garcés & Pérez, (2020)** sobre el efecto de las actividades antropogénicas en la calidad del agua del río Ambato, en donde se encontró valores de 16 a 17 °C y OD de 0.2-7.5 mg/L. En ambos estudios, los análisis in situ de temperatura se realizó en horas de 9:00 am hasta las 13:00 pm con una TA que oscilaba entre 16.4 a 24°C, es por ello que la temperatura del agua es más alta en ambos casos y por contaminación industrial.

Tabla 11. *Determinación de parámetros in situ del río Alajua*

Parámetros in situ	Unidades	P1	P2	P3	P4	P5
pH		8.3±0.02	8.27±0.02	7.67±0.02	8.59±0,02	8.87±0.02
ORP	mV	938±0.5	67±0.5	71.3±05	88.8±0,5	63.3±0.5
OD	%	112.7±1.5	115.3±1.5	116.3±1.5	117.6±1,5	119.2±1.5
OD	ppm	8.38±1.5	8.41±1.5	8.47±1.5	9.71±1,5	9.86±1.5
CE	µS/cm	127±1	128±1	128±1	152±1	161±1
STD	ppm	64±1	64±1	64 ±1	76±1	80±1
turbidez	NTU	2.56±0.03	2.26±0.03	2.72±0.03	2.06±0.03	1.89±0.03
temperatura	°C	13.02±0.15	12.62 ±0.15	12.69 ±0.15	9.32±0.15	9.54±0.15
Presión	mmHg	525.8	526.9	526.3	550.0	552.0
coordenadas	MTU	1°14'29.8"				
		S				
			1°14'28.3" S	1°14'29.6"S	1°15'40.5"S	1°15'48.3"S
			78°43'23.2"W	78°43'15.7"W	78°40'45.6"W	78°40'41.1"W
		78°43'09.1"				
		W				
Altitud	m	3236	3191	3207	2788	2784

Nota: las abreviaturas utilizadas son el potencial de oxidación y reducción (ORP), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (STD).

- Conductividad y sólidos disueltos totales muestras de agua

Los valores de conductividad oscilaron entre 161–152 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los puntos 5 y 4 del río (tabla 11). Según la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA), el rango sugerido de conductividad para las aguas superficiales es de 150–500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (USEPA, 2022). lo que significa que los valores obtenidos en estos puntos se encuentran en el rango sugerido. Por otro lado, en los puntos 1, 2 y 3 la concentración se mantuvo constante 128 mg/L, estos resultados concuerdan con los valores de sólidos disueltos. Estos dos parámetros están correlacionados y generalmente se expresan mediante una ecuación simple: $\text{TDS} = k \text{ EC}$ (en 25 °C) (Rusydi, 2018).

Los sólidos disueltos totales (TDS) están naturalmente presentes en el agua o son el resultado de la minería o algún tratamiento industrial del agua. Los TDS contienen minerales y moléculas orgánicas que brindan beneficios como nutrientes o contaminantes, como metales tóxicos y contaminantes orgánicos. Las regulaciones actuales exigen el monitoreo periódico de TDS, que es una medición de sales inorgánicas, materia orgánica y otros materiales disueltos en el agua (Rusydi, 2018).

Al comparar los valores de conductividad con otras investigaciones, varios ríos presentaron valores inferiores al valor mínimo (150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (tabla 11). Al igual que en los tres últimos puntos de esta investigación, los ríos con estos valores fueron Mashpi, Pilatón, Chiche, Pachijal, Blanco, Caoní, Alambi, Guachalá y Mindo. Por otro lado, los ríos Monjas, Guayas y Esmeraldas presentaron valores de conductividad superiores al límite máximo (500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Borja-Serrano et al., 2020). Estos ríos poseen valores demasiado altos a comparación del río Alajua, debido a que las muestras de los ríos Guayas y Esmeraldas fueron recolectadas en la zona urbana ubicada cerca del Océano Pacífico, por lo que sus altos valores de conductividad podrían estar asociados con la presencia de altas concentraciones de ciertas sales (como Na y Mg) debido a la entrada del agua del mar (Vinueza et al., 2021).

Adicionalmente, un estudio del río Ambato en el año 2020 mostró una variación de la conductividad de 291-327 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se encuentra dentro de la norma EPA. En 2021 se realizó otra campaña de muestreo y los valores fueron de 261-283 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en ambas

fases de muestreo la concentración empezó a aumentar, en la cuenca baja la conductividad desde el sector de Tilulum hasta las viñas. Este patrón de incremento se debe a la contaminación por el asentamiento humano (**Garcés & Pérez, 2021**).

Los factores que afectan a la conductividad son las sales disueltas, derrames de aguas residuales y contaminación antropogénicas, aumentan la concentración de CE. Por otro lado. Los residuos de fenoles, alcoholes o aceites son elementos que disminuyen el parámetro. Otra alternativa que pudo disminuir la conductividad podría ser el tipo de suelo en los alrededores del río. Cuando el tipo de suelo es de granito y este al no ser ionizante en presencia del agua tiende a ser un compuesto inerte y por ende no favorece a la conductividad (**Garcés & Pérez, 2021**).

Tabla 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetro	Unidad	Muestras					Límite máximo permisible		
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Tabla 1	Tabla 2	Tabla3
Amonio	mg/L	0.08 ± 0.01	0,08 ± 0,02	0,90 ± 0,04*	0,12 ± 0,02	0,07 ± 0,03		0.343	-
OD	%	112.7±1.5	115.3±1.5	116.3±1.5	117.6±1.5	119.2±1.5		> 80	-
OD	mg/L	8.38±1.5	8.41±1.5	8.47±1.5	9.71±1.5	9.86±1.5		-	> 3
pH	pH	8.3±0.02	8.27±0.02	7.67±0.02	8.59±0.02	8.87±0.02		6.5 - 9	6 – 9
Sulfatos	mg/L	0.78± 0.44	2 ± 0.71	2.11 ± 1.05	1.11 ± 0.78	5.56 ± 1.24	500	-	-
Nitratos	mg/L	0.87 ± 0.16	1.09 ± 0.21	1.20 ± 0.76	3.31 ± 0.19	3.16±0.11	50	13	-
Fosfatos	mg/L	0.33 ± 0.14	1.71 ± 0.24	1.98 ± 0.27	2.33 ± 0.14	3 ± 0.34		-	-
Cloruro	mg/L	1.61 ± 0.14	1.40 ± 0.23	0.91 ± 0.09	2.64 ± 0.25	2.21 ± 0.11		-	-
Dureza	mg/L	55.67 ± 7.75	87.37 ± 8.36	82.61 ± 1477	82.31 ± 6.25	83.75 ± 7.11		-	-
DQO	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<4	40	-
Cobre	mg/L	0.0011 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.011 ± 0.001*	0.002 ± 0.001	0.003 ± 0.001	2	0.005	0.2
Calcio	mg/L	7.66 ± 2.75	18.12 ± 2.08	16.96 ± 2.83	15.17 ± 0.32	11.68 ± 1.09		-	-
Hierro	mg/L	0.61 ± 0.02*	0.65 ± 0,03*	0.65 ± 0.02*	0.72 ± 0.02*	0.72 ± 0.04*	1	0.3	5
Manganeso	mg/L	0.62 ± 0.22**	0.79 ± 0.30**	0.81 ± 0.11**	0.98 ± 0.20**	0.9 ± 0.24**		0.1	0.2
Aluminio	mg/L	0.02 ± 0,01	0.02 ± 0,01	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.03 ± 0.01		0.1	5
Magnesio	mg/L	8.78 ±0,67	10.11 ±1,27	9.67 ± 2.24	1067 ± 1.50	13.11 ± 1.36		-	-
Cadmio	µg/L	0.201 ± 0,003	0.213 ± 0,007	0.262 ± 0.005	0.201 ± 0.002	0.127 ± 0.003	20	1	50
Cromo VI	mg/L	0.005 ± 0,001	0.026 ± 0.001	0.026 ± 0.001	0.026 ± 0.001	0.026 ± 0.001	0.05	-	0.1
Arsénico	µg/L	4.982 ± 0,246	4.950 ± 0.114	4.858 ± 0.615	5.870 ± 0.744	5.839 ± 0.931	100	50	100

Plomo	µg/L	ND	ND	$2.637 \pm 0.497^*$	$11.455 \pm 1,149^*$	$1.780 \pm 0.069^*$	10	1	-
Níquel	µg/L	ND	$3.232 \pm 0,032$	ND	ND	$2.351 \pm 0,106$	70	25	-
Coliformes fecales	UFC/100 mL	$3.7 \cdot 10^3 \pm 3 \cdot 10^2$	$3.3 \cdot 10^3 \pm 2.5 \cdot 10^2$	$1.3 \cdot 10^4 \pm 49 \cdot 10^2^*$	$7,5 \cdot 10^3 \pm 4 \cdot 10^2$	$3.4 \cdot 10^3 \pm 2 \cdot 10^2$	10000	-	10000
Coliformes totales	UFC/100 mL	$7.7 \cdot 10^3 \pm 1.5 \cdot 10^2$	$5.8 \cdot 10^3 \pm 5.2 \cdot 10^2$	$1.9 \cdot 10^4 \pm 5.1 \cdot 10^2$	$1.4 \cdot 10^4 \pm 7 \cdot 10^2$	$6.1 \cdot 10^3 \pm 6.1 \cdot 10^2$		-	-

Nota: los valores se representan con medias y desviación estándar \pm y aquellos valores que no fueron detectados por el GFAAS como (ND). La tabla 1 indica “criterio para de calidad para fuente de agua de consumo humano y uso doméstico”. La tabla 2 indica los “criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce, marinas y de estuarios” y tabla 3 “criterios de calidad admisibles para el agua destinadas a uso agrícola”(Núñez, 2015). se indican con (*) los valores que sobrepasan la tabla 2 e incluidos valores excedidos para agrícola (tabla 3) con (**)

- **Determinación de amoníaco en muestras de agua**

Para la determinación de amonio se usó un kit de determinación de marca Hanna, demostrando que los puntos 5, 4, 2 y 1 no sobrepasan el límite permisible de la legislación en el criterio de la calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce, marinas y de estuarios (tabla 12) (Núñez, 2015). Pero en el punto 3 se excedió por 0.563 mg/L por encima del límite, como se observa en la tabla 10. El aumento de concentración de amoníaco se debe a la presencia de coliformes fecales y totales, ya que en este punto existe la mayor presencia de estos microorganismos o el incremento de amoníaco puede deberse a medios indirectos como la escorrentía de tierras agrícolas (USEPA, 2013), ya que en los alrededores de la zona de muestreo 3 se encuentra rodeada de campos de cultivo.

Las normativas basándose en el criterio para la vida acuática para el efecto agudo o crónica en Estados Unidos se estableció para el amoníaco a pH 7.0 y 20 °C de 17 y 1.9 mg/L (USEPA, 2013). Australia y Nueva Zelanda se recomienda que el criterio sea de 2.18 mg/L a pH 7.0 (Ding et al., 2021). En Canadá sugiere que el valor permitido para el amoníaco total fuera de 4.82 mg/L a pH 7.0 y 20 °C (CCME, 2007).

En 2019, el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente de China encargó al Laboratorio Estatal Clave de Criterios Ambientales y Evaluación de Riesgos que desarrollara criterios de vida acuática aguda y crónica para que el amoníaco sea de 12 y 1.5 mg/L a pH 7.0 y 20 °C para China (Ding et al., 2021). Los datos analizados de amoníaco en este estudio no llegan a los criterios crítico y agudos para la vida acuática, según las normativas de diversos países.

- **Determinación de nitrato en muestras de agua**

El nitrato (0.87 – 3.31 mg/L) se encuentran dentro de los límites permisibles del TULSMA para la vida acuática y de riego. Las concentraciones de NO_3^- ocurren naturalmente, pero la mayoría de vías fluviales provienen de las actividades y fuente humana, fertilizantes, aguas residuales, escape de automóviles, desechos animales

(Dalu et al., 2019). Esto podría explicarse por la posible presencia de NO_3^- en compuestos orgánicos o inorgánicos provenientes de pesticidas agrícolas utilizados cerca de esos ríos o también por la composición mineral del suelo. Por otro lado, en los puntos 1, 2 y 3 existe la presencia de la vía Pungoloma y Quisapincha, siendo otra perturbación sobre la calidad del agua.

- **Determinación de fosfatos, sulfatos y cloruros en muestra de agua**

Las concentraciones de sulfatos (0.33–5.56 mg/L), fosfatos (0.33–3 mg/L) y cloruros (0.91–2.64 mg/L) (ver tabla 12) son concentraciones bajas que no pueden afectar la vida acuática y de regadío. Los resultados de fosfatos, sulfato y cloruros se compararon con la investigación de **Garcés y Pérez, (2020)** realizada en el Río Ambato, el PO_4^{3-} varió entre 0.2 a 2.1 mg/L, estos valores son casi similares a la de esta investigación. Debido a que los fosfatos se encuentran en fertilizantes utilizados en actividades agrícolas de la zona. En el caso de los SO_4^{2-} varió de 7-21 mg/L, estos datos son elevados en comparación del río Alajua, esto se debe a que el río Ambato posee gran contaminación antropogénica y descarga de aguas residuales. Y, por último, los resultados obtenidos de cloruros fueron 9 – 21 mg/L, estos valores son un poco altos en relación con esta investigación, pero estaban dentro de valores aceptables.

- **Determinación de potencial de hidrógeno (pH) en muestra de agua**

En la determinación de pH los puntos que tuvieron valores altos fueron 5 (8.87 pH), 4 (8.59 pH), 2 (8.27) y 1 (8.3 pH) y el punto 3 tuvo el menor pH (7.67) (tabla 11). Estos valores están dentro de la norma TUSLMA en criterio de preservación de la vida acuática y calidad del agua de regadío. Al comparar los resultados con la cuenca media y baja del río Ambato en el año 2019, en la primera campaña de muestreo obtuvieron valores 4.82-6.88 pH. En el punto de Aguaján que es la unión de los ríos Alajua y Ambato fue el único punto que entro en el límite TUSLMA, en este sector no existe mayor influencia antropogénica. Por el contrario, los puntos que se encontraban en la cuenca baja, que el pH es muy bajo (**Guachamin & Pérez, 2021**). Estos puntos empezaron desde el parque del sueño hasta el sector de las viñas, esta zona es densamente poblada y existe mayor incidencia de contaminación antropogénica.

Por otra parte, en la segunda campaña de muestreo el pH osciló entre 7.5 a 8.65. Estos valores están dentro de los límites, según **Guachamin y Pérez, (2021)** el cambio brusco de pH está relacionado con los factores ambientales y antropogénicos, como el aumento de temperatura, sedimentación de materia, actividades agrícolas, descargas de aguas residuales y desechos industriales. Estos factores disminuyen el pH porque se disminuyen los iones de hidrógeno.

Coliformes fecales y totales en muestra de agua

Según el criterio de calidad del agua de regadío de la normativa TULSMA es de 10.000 UFC/100mL. El conteo de coliforme fecales y totales se realizó en los 5 puntos, todos los puntos mostraron concentraciones de los microorganismos altas. Sin embargo, en el punto 3 se pudo notar que sobrepasó la normativa con $1.3 \cdot 10^4$ UFC/100mL (tabla 12). La presencia de estas bacterias en aguas superficiales se debe a contaminaciones de agua residuales o desechos animales resientes. Según **Rock (2014)**, otras actividades como la fauna silvestre, actividades recreativas, fertilización por estiércol en la actividad agrícola.

Los puntos 1, 2 y 3 presentan actividades agrícolas y actividades recreativas como la pesca deportiva. El punto 5 se encuentra cercana la unión de dos ríos y por ende existe la perturbación e influencia de contaminación antropogénica del río más contaminado. En el caso del punto 4 se visualizó una pequeña descarga de contaminación doméstica. Estos resultados se compararon con investigaciones anteriores, con lo cual se demostró que el río Alajua no posee mayor contaminación por coliformes en comparación con varios ríos del Ecuador.

Según el estudio de **Vinueza et al, (2021)** 12 ríos ecuatorianos presentaron concentraciones de coliformes totales y fecales. Aunque encontró contaminación microbiana en todos los ríos, los ríos más contaminados fueron el río Zamora en Loja en la región andina sur (*E. coli*: $2.50 \cdot 10^4$ UFC por 100 mL; y coliformes totales: $6.38 \cdot 10^4$ UFC por 100 mL), el río Esmeraldas (*E. coli*: $2.00 \cdot 10^4$ UFC por 100 mL; y coliformes totales: $4 \cdot 10^4$ UFC por 100 mL), y el río Machángara en Quito en la región

andina central (*E. coli*: $2,25 \cdot 10^4$ CFU por 100 mL; y coliformes totales: $3,25 \cdot 10^4$ CFU por 100 mL).

3.1.3. Determinación de metales en muestras de agua

Los metales pesados analizados en este estudio fueron cobre (Cu), cadmio (Cd) cromo (Cr), manganeso (Mn), plomo (Pb), níquel (Ni), aluminio (Al^{+3}), hierro (Fe), calcio (Ca), arsénico (As) y magnesio (Mg). Todas las concentraciones de metales se compararon con el TULSMA para la preservación de la flora y la fauna en agua dulce establecido por la legislación ecuatoriana (PVA) (*tabla 12*). Los valores de Cd ($0.13 - 0.27 \mu\text{g/L}$), As ($4.86 - 5.87 \mu\text{g/L}$) Al^{+3} ($0.01 - 0.03 \text{ mg/L}$) y Ni ($2.35 - 3.23 \mu\text{g/L}$) estos resultados se encuentran dentro de los límites establecidos en TULSMA en el criterio de la preservación de la vida acuática y calidad del agua para riego agrícola (CARA).

Por otro lado, los metales de Pb, Mn, Cu^{+2} y Fe mostraron altas concentraciones por encima del límite del TULSMA en todos los puntos de muestreo. Si bien los valores máximos recomendados por la OMS suelen ser inferiores a la legislación ecuatoriana, es importante mencionar que la mayoría de los elementos estuvieron altos en ambos límites.

Sin embargo, los valores de cobre en las zonas 1, 2, 4 y 5 son $0.0011 - 0.0033 \text{ mg L}^{-1}$ están en el rango permitido. Pero en el punto 3 se excedió en 54,96 % sobre el límite (PVA), en cambio, para los límites de CARA ningún punto se sobrepasa. Al comparar con otras investigaciones, este metal también se detectó en los ríos Guayas, Machángara y Guayllabamba en concentraciones que excedieron las pautas ecuatorianas (Vinuesa et al., 2021). Pero en comparación con ríos de otros países se descubrieron valores muy altos de contaminación de Cu, como Bangladesh ($0.5-0.1 \text{ mg/L}$), Canadá ($0.001-0,11 \text{ mg/L}$), Chile ($0.17-0.630 \text{ mg/L}$) y EE. UU. ($0.01-0.570 \text{ mg/L}$)(Rivera et al., 2004; Vinuesa et al., 2021).

Algunas fuentes mencionaron que estos niveles de Cu^{+2} podrían estar asociados a la contaminación de las tuberías de agua de los hogares, actividades antropológicas, escoriación de vías o industrias (**Kumpel & Nelson, 2014**). Esta concentración alta en el punto 3 podría explicarse por la presencia de la vía Pungoloma – Quisapincha y la actividad de pesca deportiva o actividades cercanas a las fuentes de agua. Se debe mencionar que el exceso de cobre induce estrés oxidativo, daño en el ADN y reducción de la proliferación celular, lo que lleva a la formación de cobre (**Oe et al., 2016**).

En el caso de la contaminación por Pb el punto 4 tuvo una concentración diez veces superior al límite máximo permisible PVA (11.455 $\mu\text{g/L}$). En los puntos 5 y 3 los valores son más bajos (1.178 – 2.637 $\mu\text{g/L}$) (tabla 12), pero sobrepasa un 78 y 62.13 %. Este elemento se considera muy pesado y tóxico que afecta a casi todas las funciones de los seres humanos. Si bien el plomo está naturalmente presente en el ambiente, las actividades antropogénicas, como la deposición atmosférica de Pb antropogénico debido al amplio uso de gasolina, combustión de carbón, el transporte de polvo a larga distancia y gases de escape de los vehículos (**Vinueza et al., 2021**).

Los niveles de Pb encontrados en estos tres puntos fueron similares a los niveles de contaminación, reportando en las concentraciones de Pb superiores a los límites máximos permisibles en los ríos Guachalá, Machángara, Pedregales y Alambi (1.345 - 5.898 - 10.897 $\mu\text{g/L}$) (**Borja-Serrano et al., 2020**). El plomo se considera un elemento pesado tóxico importante en el medio ambiente, que afecta a casi todas las funciones de los seres vivos. La toxicidad por plomo puede ser causada por frutas y verduras contaminadas con altos niveles de plomo de los suelos donde se cultivaron (**Wani et al., 2015**).

Los valores permisibles para Fe son de 0.3 mg/L, pero en los 5 puntos estudiados las concentraciones oscilaron entre 0.61- 0.72 mg/L. Claramente, estos resultados son superiores al TULSMA para PVA, una posible explicación para estos altos valores de Fe podría ser la descarga de efluentes sin tratar de las industrias metalúrgicas ubicadas

cerca de estos ríos. Otra alternativa, podría ser por fuentes naturales debido a la composición del suelo (**Borja-Serrano et al., 2020**).

Los resultados de Fe en los sedimentos de la orilla del río varían entre 366.44 – 514.89 mgkg^{-1} como se puede ver en la tabla 13. Estos valores son muy altos, siendo la explicación del porque el Fe en las muestras de agua sobrepasan la normativa. La Organización Mundial de la Salud menciona que las concentraciones 0.7 mg/L de Fe no es un peligro inmediato para la salud pública, pero si existe una acumulada de Fe podría causar necrosis hemorrágica y trastornos en la mucosa del estómago (**OMS, 2008**). Por otro lado, en la normativa CARA los valores se encuentran dentro de rango.

A continuación, se hablará sobre los niveles de concentración de Mn en los puntos 4 y 5 porque la concentración excede ocho veces la norma PVA. Por otro lado, según el criterio de calidad de agua para regadío, los valores no tienen que sobrepasar de 0.2 mg/L. Los cinco puntos han sobrepasado ambas normativas. Esto se debe al origen geogénico y también se atribuye al aporte menor de fuentes antropogénicas (**Bhuyan et al., 2019**). La acumulación de manganeso en el ambiente acuático son procesos bioquímicos anaeróbicos causados por la sedimentación activa del lecho del río debido al lavado de sustancias orgánicas de los campos agrícolas. Como se puede notar en los resultados de la tabla 13, los valores del Mn son altos 117.33- 78.44 mg/kg.

3.1.4. Determinación y comparación de la normativa TULSMA de los metales pesado en sedimentos

Tabla 13. Comparación de los resultados de la caracterización de los sedimentos con los límites máximos permisibles TULSMA tabla 3

Metales	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	(TABLA 1 DEL LIBRO VI ANEXO 2 TULSMA)
Conductividad	μS/cm	73 ± 1	97 ± 1	85 ± 1	56 ± 1	59 ± 1	200
pH		8,0 ± 0.02	7,24 ± 0.02	7,73 ± 0.02	7,02 ± 0.02	6,77 ± 0.02	6 a 8
Níquel	mg/kg	0.91 ± 0,01	13.76 ± 1.02	3,65 ± 0.66	4.12 ± 0.73	8.52 ± 4.63	19
Plomo	mg/kg	2.23 ± 0.51	2.70 ± 0.98	8.97 ± 1.92	10.50 ± 1.47	2.09 ± 0.42	19
Cadmio	mg/kg	0.15 ± 0.03	0.24 ± 0.01	1.81 ± 0.27*	0.18 ± 0.03	0.60 ± 0.03*	0,5
Arsénico	mg/kg	4.644 ± 0.533	6.45 ± 0.42	7.83 ± 0.61	9.16 ± 0.69	11.03 ± 1.86	12
Cobre	mg/kg	175.11 ± 8.78*	194.22 ± 8.27*	198.67 ± 9.23*	200 ± 9,49*	228.22 ± 5.61*	25
Hierro	mg/kg	292.89 ± 8.61	374 ± 12.25	449.56 ± 7.20	469.59 ± 10.99	509.59 ± 7.47	-
Manganeso	mg/kg	64,44 ± 8.82	88,67 ± 10.30	88.89 ± 10.55	95.56 ± 8.86	113.33 ± 10	-
Cromo VI	mg/kg	2.91 ± 0.31*	2.93 ± 0.48*	6.33 ± 0.3*	4.44 ± 0.56*	5.02 ± 0,41*	0,4

Nota: los resultados de esta tabla son medias y desviación estándar ±. Anexo 2 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. La tabla 1 indica los criterios de calidad del suelo. Se evidencia con (*) los metales que sobrepasaron la norma.

- **Determinación de conductividad en muestras de sedimentos**

La conductividad en los sedimentos de la orilla del río Alajua en los 5 puntos se encuentra en el límite TULSMA del criterio de calidad de suelo. Existe un aumento en la CE cuando se presenta contaminación por sales. Los sedimentos de diferentes ríos como el río Napo que varió entre 23-147 $\mu\text{S}/\text{cm}$, río Esmeraldas (428 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y río Teaone 2710 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). En estos ríos existen refinerías y descargan de efluentes sobrecargados de sales (Naranjo et al., 2015).

- **Determinación de pH en muestras de sedimentos**

Los valores de pH en los sedimentos se encuentran en los límites máximo permisible para la calidad de suelo. Sin embargo, el punto 5 fue el punto más alcalino a comparación de los 4 primeros. En comparación con otros ríos, el Alajua no posee contaminación preocupante. Un estudio realizado por Naranjo et al, (2015) de mostró que las cuencas de los ríos Aguarico y Napo tenían valores entre 3,7 -6,8, en estos valores se presentados un pH ácido. Cuando se presentan pH ácido significa que la presencia de compuestos tóxicos en los sedimentos, y disminuye la disolución de hidróxidos minerales y carbonatos (Naranjo et al., 2015).

- **Determinación de metales en sedimentos**

Las concentraciones de metales pesados (HM) en los sedimentos dan una idea clara sobre el nivel de contaminación por HM de todo el ecosistema acuático. En la Tabla 13 se muestran las concentraciones de HM en las muestras de sedimento. el orden de concentración de los metales siguió la misma secuencia: $\text{Fe} > \text{Cu}^{+2} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr}^{+6} > \text{Cd}$. La mayoría de los metales están dentro del límite del criterio de calidad, sin embargo, las concentraciones de Fe y Cu^{+2} son las más altas, con valores de 292.44 – 509.59 mg/kg y Cu^{+2} 175.11– 228.22 mg/kg, pero este último es el único que sobrepasó a la norma de calidad.

Por otra parte, el Cu^{+2} se encuentra en el límite máximo permitido para la calidad de suelos. Los sedimentos del río se pueden contaminar con Cu^{+2} por el uso en la

agricultura y la horticultura como fertilizante y fungicida. El suelo contaminado con cobre se atribuye principalmente a actividades agrícolas como la aplicación continua de fungicidas a base de cobre y la aplicación de pesticidas (Shaw et al., 2020). También, el efecto de la contaminación por Cu^{+2} en la biomasa microbiana del suelo afecta seriamente el reciclaje de nutrientes en el suelo y, por lo tanto, el crecimiento y rendimiento de las plantas. El efecto combinado de la interacción del Cu^{+2} con otros metales es perjudicial para la adaptación microbiana y la subsiguiente tolerancia al Cu^{+2} por parte de los microorganismos (El-Ghamry et al., 2000).

Según la investigación de Shaw et al, (2020) que realizó un experimento de campo, 12 años después de la aplicación de cobre (Cu^{+2}) a suelos agrícolas, con concentraciones de tratamiento que oscilan entre 0 y 3310 mg/kg Cu^{+2} de suelo. Y midieron los efectos a largo plazo de la exposición al Cu^{+2} en los suelos mediante evaluaciones de funcionalidad múltiple y análisis comunitarios basados en el ADN ambiental. Los resultados de la evaluación revelaron que los suelos que recibieron dosis moderadas a altas de Cu^{+2} aún no habían recuperado la funcionalidad 12 años después de la exposición. Es por esta razón que los valores de Cu^{+2} no deben sobrepasar a la norma, si es así, el suelo no podrá remediarse.

Por otro lado, los valores de Cr^{+6} sobrepasó la normativa de calidad de (0.4 mg/kg) en todos los puntos de muestreo. El punto 3 tuvo mayor concentración de este metal 6.33 mg/kg, seguido del punto 5 (5.02 mg/kg), punto 4 (4.44 mg/kg), y los puntos 1 y 2 con valores de 2.93 – 2.91 mg/kg. Según, *the Canadian Council of Minister of Environmente*, el cromo ingresa a los sistemas acuáticos a través de la deposición de aérea o la escorrentía superficial de carreteras y, posteriormente, su asociación con las partículas da como resultado su deposición en los sedimentos de los ríos. Debido a que una variedad de organismos vive en contacto con los sedimentos, los sedimentos son una ruta importante de exposición para los organismos acuáticos a Cr^{+6} .

Como se puede notar en la tabla 13 los tres últimos puntos tuvieron mayor concentración de Cr^{+6} esto puede desde el punto 3 pasa la vía Pungoloma -

Quisapincha causada por la escorrentía de la carretera. Además, existieron dos puntos 3 y 5 con altas concentraciones de Cd (1.807 – 0.597 mg/L). El Cd es un elemento que está presente en niveles ligeramente superiores (0,3 mg/kg) en algunos tipos de rocas sedimentarias (Rzetała, 2016). Dados estos límites naturales del contenido de Cd, se puede concluir que la concentración de este elemento en todas las muestras de sedimentos del fondo del cuerpo fue más alta que el rango natural de concentraciones de este elemento, resultado una contaminación de origen antropogénica.

3.1.5. Determinación del índice de calidad del agua

Tabla 14. Valores del índice de calidad Dinius y n del agua del Río Alajua

Puntos de muestreo	ICA						
	ICA DINIUS			ICA NSF			
	Valor	Criterio		Color	Valor	Criterio	Color
P1	84	Purificación	Aceptable	Azul	75	Buena	Verde
P2	83	menor para	Aceptable		69	Media	
P3	83	cultivos que	Aceptable	Verde	69	Media	Amarillo
P4	73	requieren agua	Levemente		62	Media	
P5	72	de alta calidad	e contamina da		60	Media	

Se escogió a dos índices de calidad distintos, ya que los criterios de evaluación son diferentes. El ICA NSF sirve para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática y genera de una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, este ICA también sirve para estima el uso del agua para el consumo humano. Por otro lado, el ICA de Dinius cuya clasificación está orientada al agua de captación para consumo humano, considera 5 usos del recurso: consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación (Torres et al., 2018).

Se puede notar en que los dos índices de calidad existen un aumento de la calidad del agua en la cuenca alta del río Alajua. Según el índice de Dinius el agua del río es apta para el uso de actividad agrícola (tabla 14). En los puntos 1,2 y 3 el regadío necesita una purificación mínima dependiendo el tipo de cultivo y en los puntos 4 y 5 se ve afectado por una contaminación leve. Por lo tanto, el punto 5 es la zona con el índice de calidad más bajo (72), siendo el último punto de la microcuenca baja del río y se ve más afectado por las actividades antropogénicas de la zona como cultivos de frutas, descargas de aguas domésticas y minería de canteras de cascajo. Ya que la calidad del agua se ve afectado por estos distintos factores, bajando su puntuación (**Sierra, 2011**).

En el caso del índice de calidad NSF se obtuvo criterios buenos y medios en el agua. Los puntos de la cuenca baja poseen criterios medios o regulares, siendo el inferior de 60 que se encuentra en la zona 5 la planta de tratamiento de E-MAPA sector Aguajan. Este ICA se le puede comparar con la investigación **de Guachamin y Pérez (2021)**, determinaron que en el sector Aguajan el índice de calidad fue de 61 siendo de una calidad regular en la fecha 7 de diciembre del 2019. Sin embargo, en la segunda campaña de muestro de mismo sector realizada el 29 de febrero del 2020 se calificó como mala con un valor de 51. Los investigadores mencionan que este cambio de calificación se debió a la transición del invierno y a condiciones climática (**Guachamin & Pérez, 2021**). Al existir mayor presencia de lluvias, el agua superficial será más diluida. Por ende, habrá menos incidencia en varios parámetros como la demanda biológica de oxígeno. Por otro lado, se incrementará parámetros como turbidez y sólidos suspendidos y disueltos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se caracterizó los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos en muestras de agua superficiales en cinco puntos de la microcuenca alta y baja del río Alajua. Encontrando la presencia de nutrientes (nitratos, sulfatos, cloruros y amoníaco), bacteria (coliformes totales y fecales), pH (alcalino), oxígeno disuelto (alto), conductividad eléctrica (baja), sólidos disueltos totales (bajos) y turbidez (baja). Los sectores con mayor afección de estos parámetros son el punto 5 planta de tratamiento E-MAPA (sector Aguaján), punto 4 planta de tratamiento EP-EMAPA Tilulum 200 m hacia arriba y punto 3 que se ubica a 200 m hacia debajo de la vía Pungoloma -Quisapincha. Los resultados obtenidos en dichos puntos reflejan mayores actividades que contaminan el agua superficial del río, como la presencia de vías, zonas de agrícolas, deforestación, descargas domésticas. Causando acumulación de sustancias nocivas para la calidad del agua.

Se identificó la presencia de metales pesados en el agua y sedimentos del río Alajua. Donde, la mayor concentración de metales pesados en muestras de agua fueron $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cd} > \text{Cr}^{+6} > \text{Al}^{+3} > \text{Cu}$. Cabe destacar, existieron puntos que no se evidenció contaminación de dos metales Pb y Ni siendo los puntos 4 y 5 para el Pb y los puntos 1, 2 y 3 en el caso del Ni.

Se comparó los resultados obtenidos con la normativa TULSMA, con lo cual se obtuvo que los parámetros como el pH, conductividad, turbidez, sulfatos, nitratos, Al, Cd, Cr, As y Ni no excedieron de los límites según los criterios de preservación de la vida acuática y calidad de agua para riego agrícola en ninguno de los 5 puntos de muestreo. Por otra parte, el parámetro que excedieron los criterios de la tabla 2 y 3 fue Mn en todos los puntos de muestreo. También, se encontró altas concentraciones de Fe que sobrepasó los criterios para preservación de vida acuática. La presencia de ambos metales se podría deber una alta concentración en sedimento, siendo una contaminación natural. Por otro lado, el punto 3 es crítico ya que presenta

contaminación excesiva de 4 metales pesados Fe (0.65 mg/L), Mn (0.81 mg/L), Cu⁺² (0.011 mg/L) y Pb (2.64 µg/L), contaminación microbiológica (1.3*10⁴ UFC de coliformes fecales) y por amoníaco (0.90 mg/L). Además, se encontró altas concentraciones de Pb (11,45 µg/L) las muestras de agua en el punto 4.

Se determinó un grado de afectación medio en los puntos 5 y 4 de la cuenca baja y en los puntos 2 y 3 de la cuenca media del río Alajua a partir del índice de calidad NSF. Este índice se pudo comparar con otras investigaciones de mostrando que en el sector de Aguaján reciben la misma calificación cuando existe ausencia de lluvias. Por otro lado, los resultados del índice de Dinius se determinó en los 1 y 2 puntos como aceptables según el criterio de calidad de agua para la agricultura y 2 los puntos 3, 4 y 5 están levemente contaminados

Se evaluó la calidad del agua del río Alajua aplicando un análisis fisicoquímico y microbiológico. Lo cual permitió evidenciar la presencia de elementos alterados en tres puntos de muestreo, siendo 2 de la microcuenca baja y 1 del alta. Debido a la presencia de influencia antropogénica detectada en los alrededores. Concluyendo, este recurso hídrico necesita un tratamiento previo para el uso de consumo humano.

4.2. Recomendaciones

- Elaborar un índice que integre metales pesados en su cálculo debido a que se ha encontrado varios en el agua superficial del río.
- Para fines de estudio de control de la calidad ambiental del agua del río Alajua se sugiere realizar un monitoreo trimestral, semestral y anual de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas, para entender la variación de estos parámetros en un transcurso temporal.
- Realizar una secuenciación de los microorganismos para saber si estos pueden ser de importancia para la salud pública.
- Socializar los resultados obtenidos a las comunidades cercanas al río para incentivar el cuidado del recurso hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abrahão, R., Carvalho, M., Da Silva, W. R., Machado, T. T. V., Gadelha, C. L. M., & Hernandez, M. I. M. (2007). Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. *Water SA*, 33(4), 459–465. <https://doi.org/10.4314/wsa.v33i4.52940>
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., & Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222–239. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2019.02.001>
- Alexiades, A., Encalada, A., Lessmann, J., & Guayasamin, J. (2019). *Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador*. <https://doi.org/10.1080/02705060.2018.1542353>
- Almeida, S. F. P., Elias, C., Ferreira, J., Tornés, E., Puccinelli, C., Delmas, F., Dörflinger, G., Urbanič, G., Marcheggiani, S., Rosebery, J., Mancini, L., & Sabater, S. (2014). Water quality assessment of rivers using diatom metrics across Mediterranean Europe: A methods intercalibration exercise. *Science of The Total Environment*, 476–477, 768–776. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.11.144>
- Arango, A. (2020). *Implementación Y estandarización del método para la determinación de arsénico en muestras de aguas en influencia minera por espectroscopia de absorción atómica generador de hidruros*.
- Benítez, M. B., Champagne, P., Ramos, A., Torres, A. F., & Ochoa-Herrera, V. (2018). Wastewater treatment for nutrient removal with Ecuadorian native microalgae. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1459874>, 40(22), 2977–2985. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1459874>
- Bhuyan, M. S., Bakar, M. A., Rashed-Un-Nabi, M., Senapathi, V., Chung, S. Y., & Islam, M. S. (2019). Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water and sediment of the Old Brahmaputra River, Bangladesh. *Applied Water Science*, 9(5), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1004-y>
- Birke, M., Reimann, C., Rauch, U., Ladenberger, A., Demetriades, A., Jähne-

- Klingberg, F., Oorts, K., Gosar, M., Dinelli, E., & Halamić, J. (2017). GEMAS: Cadmium distribution and its sources in agricultural and grazing land soil of Europe — Original data versus clr-transformed data. *Journal of Geochemical Exploration*, 173, 13–30. <https://doi.org/10.1016/J.GEXPLO.2016.11.007>
- Borja-Serrano, P., Ochoa-Herrera, V., Maurice, L., Morales, G., Quilumbaqui, C., Tejera, E., & Machado, A. (2020). Determination of the Microbial and Chemical Loads in Rivers from the Quito Capital Province of Ecuador (Pichincha)—A Preliminary Analysis of Microbial and Chemical Quality of the Main Rivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 5048, 17(14), 5048. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17145048>
- Borja, P., Ochoa, V., Maurice, L., Morales, G., Quilumbaqui, C., Tejera, E., & Machado, A. (2020). Determination of the Microbial and Chemical Loads in Rivers from the Quito Capital Province of Ecuador (Pichincha)-A Preliminary Analysis of Microbial and Chemical Quality of the Main Rivers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 5048. www.mdpi.com/journal/ijerph
- Bozorg-Haddad, O., Delpasand, M., & Loáiciga, H. A. (2021). Water quality, hygiene, and health. *Economical, Political, and Social Issues in Water Resources*, 217–257. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90567-1.00008-5>
- Calle, P., Monserrate, L., Medina, F., Calle Delgado, M., Tirapé, A., Montiel, M., Ruiz Barzola, O., Cadena, O. A., Dominguez, G. A., & Alava, J. J. (2018). Mercury assessment, macrobenthos diversity and environmental quality conditions in the Salado Estuary (Gulf of Guayaquil, Ecuador) impacted by anthropogenic influences. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 365–373. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.09.018>
- Capparelli, M. V., Cabrera, M., Rico, A., Lucas-Solis, O., Alvear-S, D., Vasco, S., Galarza, E., Shiguango, Lady, Pinos-Vélez, V., Pérez-González, A., Espinosa, R., & Moulatlet, G. M. (2021). *An Integrative Approach to Assess the Environmental Impacts of Gold Mining Contamination in the Amazon*. <https://doi.org/10.3390/toxics9070149>
- Castaño, A., & Robledo, L. (2012). *Validación de la metodología para el análisis de los metales cadmio y plomo en agua tratada por absorción atómica con horno de*

grafito en el Laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira.

<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/5430858R666.pdf>

CCME. (2007). Protocol for the derivation of water quality guidelines for the protection of aquatic life. *Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.*

Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of The Total Environment*, 533, 205–214. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.06.106>

Coraspe, H., & Tejera, S. (2018). Procedimiento para la toma de muestras de suelos. *Fonaiap*, 1. http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd54/suelos.htm

Cruz, M., Bolaños, M., Rebolledo, E., Rubio, D., & Salinas, E. (2015). Análisis del contenido de metales en agua, sedimentos y peces en la cuenca del río Santiago, provincia de Esmeraldas, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, IV(32–42).

Dalu, T., Wasserman, R. J., Magoro, M. L., Froneman, P. W., & Weyl, O. L. F. (2019). River nutrient water and sediment measurements inform on nutrient retention, with implications for eutrophication. *Science of The Total Environment*, 684, 296–302. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.167>

Ding, T. T., Du, S. L., Huang, Z. Y., Wang, Z. J., Zhang, J., Zhang, Y. H., Liu, S. S., & He, L. S. (2021). Water quality criteria and ecological risk assessment for ammonia in the Shaying River Basin, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 215(December 2020), 112141. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112141>

Duraisamy, R., & Heydari, A. (2013). *State of the art treatment of produced water.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05>

El-Ghamry, A. M., Subhani, A., Mohd, W., Changyong, H., & Zhengmiao, X. (2000).

- Effects of Copper Toxicity on Soil Microbial Biomass. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(6), 907–910. <https://doi.org/10.3923/PJBS.2000.907.910>
- Flores, L. (2022). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba basado en un análisis jerárquico para identificar los peso de los parámetros de un índice propio de calida del agua*. [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/39607/1/Trabajo-de-Titulación .pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/39607/1/Trabajo-de-Titulación.pdf)
- Garcés, M., & Pérez, L. (2021). *Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del rio Ambato*. 593(03), 119. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/12640>
- Ghosh, G., & Mukhopadhyay, D. K. (2018). Human health hazards due to arsenic and fluoride contamination in drinking water and food chain. *Groundwater Development and Management: Issues and Challenges in South Asia*, 351–369. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75115-3_15/COVER
- Gilbert, R., & Manly, B. (2015). Muestreo y análisis ambiental - Diseño de muestreo ambiental. *Metroquímica*, 2.
- Goos Timmerman, J. (2011). *Bridging the water information gap structuring the process of specification of information needs in water management*.
- Grizzetti, B., Lanzaova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy*, 61, 194–203. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2016.04.008>
- Guachamin, S., & Pérez, L. (2021). *Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32090/1/BQ247.pdf>
- Guananga-Díaz, F., Carbonel H., C., Escobar-Arrieta, S., Guerrero-Rivera, A., Mendoza, B., & Guananga-Díaz, N. I. (2022). Influence of geomorphology and flow on the water quality of Guano River, Ecuador. *Novasinerгия*, 5(2), 174–192. <https://novasinerгия.unach.edu.ec/index.php/novasinerгия/article/view/315/312>

- Hanna. (2020). *HI 93399 Fotómetro multiparamétrico con DQO*.
https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2020/08/Manual_HI_83399.pdf
- Hermann, P. (2002). Management conflicts in the Ambato river watershed, Tungurahua Province, Ecuador. *Mountain Research and Development*, 22, 338–340.
[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2002\)022\[0338:MCITAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2002)022[0338:MCITAR]2.0.CO;2)
- INEN 1108. (2014). Agua Potable. Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 5, 1–10. <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah -Al- Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2014.08.016>
- Jha, P. K., & Tripathi, P. (2021). Arsenic and fluoride contamination in groundwater: A review of global scenarios with special reference to India. *Groundwater for Sustainable Development*, 13, 100576.
<https://doi.org/10.1016/J.GSD.2021.100576>
- Kayastha, V., Patel, J., Kathrani, N., Varjani, S., Bilal, M., Show, P. L., Kim, S. H., Bontempi, E., Bhatia, S. K., & Bui, X. T. (2022). New Insights in factors affecting ground water quality with focus on health risk assessment and remediation techniques. *Environmental Research*, 212, 113171.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113171>
- Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 108, 104388.
<https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2019.104388>
- Kulinkina, A. V., Shinee, E., Rafael, B., Herrador, G., Nygård, K., & Schmoll, O. (2016). *The situation of water-related infectious diseases in the pan-european region*. <http://www.euro.who.int/pubrequest>
- Kumar, N. M., Sudha, M. C., Damodharam, T., & Varjani, S. (2020). Micro-pollutants in surface water: Impacts on the aquatic environment and treatment technologies.

Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 41–62.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819594-9.00003-6>

Kumpel, E., & Nelson, K. L. (2014). Mechanisms affecting water quality in an intermittent piped water supply. *Environmental Science & Technology*, 48(5), 2766–2775. <https://doi.org/10.1021/ES405054U>

Lintern, A., Webb, J. A., Ryu, D., Liu, S., Bende-Michl, U., Waters, D., Leahy, P., Wilson, P., & Western, A. W. (2018). Key factors influencing differences in stream water quality across space. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1002/WAT2.1260>

Matta, G., Tchounwou, P., & Gjyli, L. (2015). *lead and arsenic impact on environment and human health.pdf Cite this paper Related papers Heavy Metals and Human Health Simone Morais Elemnt mines urns neh Review: Environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for public health Mercury, lead and arsenic: impact on environment and human health.* www.jchps.com

Naranjo, C. G. P., Maurice, L., Ochoa-Herrera, V. de L., López, F., Egas, D. A., Lagane, C., & Besson, P. (2015). Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 7(2). <https://doi.org/10.18272/ACI.V7I2.271>

Nicholas Hewitt, C., & Candy, G. B. B. (1990). Soil and street dust heavy metal concentrations in and around Cuenca, Ecuador. *Environmental Pollution*, 63(2), 129–136. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(90\)90063-I](https://doi.org/10.1016/0269-7491(90)90063-I)

NTE INEN 2176. (2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*.

NTE INEN 2226. (2013). *Agua, calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo.* <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2226-1.pdf>

Núñez, L. T. (2015). Libro IV del texto unificado de legalización ecundaria del ministerio del Ambiente: Normativo de calidad ambiental y dedescargas de efluentes al recurso agua. *Ministerio de Ambiente*, 097, 6–26.

- Oe, S., Miyagawa, K., Honma, Y., & Harada, M. (2016). Copper induces hepatocyte injury due to the endoplasmic reticulum stress in cultured cells and patients with Wilson disease. *Experimental Cell Research*, 347(1), 192–200. <https://doi.org/10.1016/J.YEXCR.2016.08.003>
- OMS. (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality* (Vol. 1). https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/guidelines_for_drinking_water_quality_3v.pdf
- OMS. (2019). *Drinking-water*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU. (2011). *UN-Water Annual Report*. https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2012/05/annualreport_2011.pdf
- ONU. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. In *Publicación de las Naciones Unidas*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Ouyang, Z., Tian, J., Yan, X., & Shen, H. (2021). Effects of different concentrations of dissolved oxygen on the growth, photosynthesis, yield and quality of greenhouse tomatoes and changes in soil microorganisms. *Agricultural Water Management*, 245, 106579. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106579>
- Pal, A., Pal, M., Mukherjee, P., Bagchi, A., & Raha, A. (2018). Determination of the hardness of drinking packaged water of Kalyani area, West Bengal. *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 4(2), 203–206. <https://doi.org/10.31024/ajpp.2018.4.2.17>
- Pérez. (2015). *Gestión Actual de los Recursos Hídricos en la Subcuenca del río Ambato desde los Actores*.
- Pérez Aldas, L. V., Guachamin Zambrano, S. N., Acurio Arcos, L. P., Robalino Martínez, D., & Fuentes, E. M. (2022). Study of the Influence of Anthropogenic Sources on the Water Quality of the Ambato River, Tungurahua - Ecuador. A Growing Environmental Problem. In M. I. A. Chauvin, M. Botto-Tobar, A. Díaz

- Cadena, & S. Montes León (Eds.), *Sustainability, Energy and City* (pp. 101–110). Springer International Publishing.
- Pérez, J. I., Nardini, A. G., Galindo, A. A., Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>
- PG Instruments. (n.d.). *AA500 Atomic absorption spectrometer - Flame and Graphite Analysis*.
- Plúas, A. (2018). *Determinación de coliformes totales y Escherichia coli en el estuario Chulluype del cantón Santa Elena provincia de Santa Elena*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39709/1/TESIS PLÚAS 2019.pdf>
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *Maskana*, 2(1), 17–30. <https://doi.org/10.18537/mskn.02.01.02>
- Rivera, N. R., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A., & Mejias, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 15(5), 89–101. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642004000500013>
- Rusydi, A. F. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>
- Rzętała, M. A. (2016). Cadmium contamination of sediments in the water reservoirs in Silesian Upland (southern Poland). *Journal of Soils and Sediments*, 16(10), 2458–2470. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1477-3>
- Sánchez, M., Pérez, L., Córdova, M., & Cabrera, D. (2020). Heavy metal contamination in the Cotopaxi and Tungurahua rivers: a health risk. *Environmental Earth Sciences*, 79(6), 144. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8869-9>
- Shaji, E., Santosh, M., Sarath, K. V., Prakash, P., Deepchand, V., & Divya, B. V.

- (2021). Arsenic contamination of groundwater: A global synopsis with focus on the Indian Peninsula. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101079. <https://doi.org/10.1016/J.GSF.2020.08.015>
- Shaw, J. L. A., Ernakovich, J. G., Judy, J. D., Farrell, M., Whatmuff, M., & Kirby, J. (2020). Long-term effects of copper exposure to agricultural soil function and microbial community structure at a controlled and experimental field site. *Environmental Pollution*, 263, 114411. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114411>
- Sierra, C. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>
- Suárez-Perales, I., Valero-Gil, J., Leyva-de la Hiz, D. I., Rivera-Torres, P., & Garcés-Ayerbe, C. (2021). Educating for the future: How higher education in environmental management affects pro-environmental behaviour. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128972. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128972>
- Taylor, K. G., & Owens, P. N. (2009). Sediments in urban river basins: A review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. In *Journal of Soils and Sediments* (Vol. 9, Issue 4, pp. 281–303). <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0103-z>
- Torres, C., Valencia, N., & Bonilla, A. (2018). *Planteamiento de una metodología para el cálculo de un índice de calidad del agua para el río Machángra, cuenca alta del río Guayllabamba*.
- U.S.EPA. (2007). *Method 3051A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils*. February, 1–30. [epa.gov/esam/us-epa-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-and-oils](https://www.epa.gov/esam/us-epa-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-and-oils)
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- UNICEF. (2022). *Water scarcity- Addressing the growing lack of available water to meet children's needs*. <https://www.unicef.org/wash/water-scarcity>

- USEPA. (2013). Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia. *United States Environmental Protection Agency*, 13(April), 1–255. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/fact_sheet_aquatic-life-ambient-water-quality-criteria-for-ammonia-freshwater-2013.pdf
- USEPA. (2022, November 13). *Indicators: Conductivity*. <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-conductivity>
- Vega, C. (2021). Evaluación de la calidad del agua y sedimento de la subcuenca del río Birrís, en cuanto a su contenido de metales pesados. *Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Química Carrera de Ingeniería Ambiental*, 5–70.
- Vinueza, D., Ochoa-Herrera, V., Maurice, L., Tamayo, E., Mejía, L., Tejera, E., & Machado, A. (2021). Determining the microbial and chemical contamination in Ecuador's main rivers. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96926-z>
- Voloshenko-Rossin, A., Gasser, G., Cohen, K., Gun, J., Cumbal-Flores, L., Parra-Morales, W., Sarabia, F., Ojeda, F., & Lev, O. (2014). Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro–Guayllabamba–Esmeraldas rivers. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(1), 41–53. <https://doi.org/10.1039/C4EM00394B>
- Wani, A. L., Ara, A., & Usmani, J. A. (2015). Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary Toxicology*, 8(2), 55. <https://doi.org/10.1515/INTOX-2015-0009>

ANEXOS






Anexo 1. *Insumos de protección personal*



Anexo 2. *Etiquetas*



Anexo 3. Formato del documento de cadena de custodia.

 Universidad técnica de Ambato/ Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología Ambato – Tungurahua, Ecuador Cadena de custodia del muestro de aguas y sedimentos 														
Lugar del monitoreo	Microcuenca del río Alajua		Dirección	Vía Pasa – Vía Pungoloma- Quisapincha		Proyecto: “Caracterización de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos de la microcuenca del río Colorado”. La propuesta se encuentra dentro del proyecto de investigación de la DIDE sobre la “Caracterización de fuentes hídricas superficiales en la Zona Andina del Río Pastaza, Ecuador” aprobada mediante Resolución UTA-CONIN-2022-0031-R								
Fecha y hora	09 – 15/09/2022		Responsable	Moreano Panchi Ana Belén										
Apariencia de la muestra			Equipos					Coordenadas geográficas	Latitud			Longitud		
Color	Transparente		Medidor multiparamétrico HI 9829						P1	1°14'29.8" S		78°43'09.1" W		
Espuma	Ausencia		Turbidímetro LaMotte						P2	1°14'28.3" S		78°43'23.2"W		
Turbidez	Ausencia		Materiales						P3	1°14'29.6"S		78°43'15.7"W		
M. flotante	Ausencia		Botella de Van Dorn, frascos de polietileno, y botellas ámbar.						P4	1°15'40.5"S		78°40'45.6"W		
P5								P5	1°15'48.3"S		78°40'41.1"W			
N°	Código de muestra	Fecha de muestreo	Tipo de muestra		Parámetros in situ								Determinación en laboratorio	
			Simple	Compuesta	pH	CE uS/cm	Te (°C)	OD (ppm)	ORP (mV)	SDT (ppm)	Turbidez NTU	P (mm/Hg)	Coliformes fecales y totales	x
1	P1 - B1; P1 – B2; P1 – B3	15 / 09/ 2022	x		8.3	127	13.02	8.38	93.8	98,00	2.56	525.8	Metales en aguas	x
2	P2 - B1; P2 – B2; P2 – B3	15 / 09/ 2022	x		8.27	128	12.26	8.41	67	64,00	2.26	526.9	DQO y DBO	x
3	P3 - B1; P3 – B2; P3 – B3	15 / 09/ 2022	x		7.67	128	12.69	8.47	71.3	114,00	2.72	526.3	Nutrientes inorgánicos	x
4	P4 - B1; P4 – B2; P4 – B3	09 / 09/ 2022	x		8.59	152	9.32	9,71	88.8	98,00	2.06	550.0	SST y ST	x
5	P5 - B1; P5 – B2; P5 – B3	09 / 09/ 2022	x		8.87	161	9.54	9.86	63.3	242,00	1.89	552.0	Metales en sedimentos	x
Referencia del procedimiento de muestreo NTE INEN 2226:2013: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo NTE INEN 2176:2013: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. NTE INEN 2169, 2013: Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras					Técnico responsable de toma y envió de muestras Nombre: Moreano Ana Belèn Firma:  Fecha: 09- 15/ 09/ 2022				Técnico responsable de la entrega de muestra al laboratorio de análisis Nombre: Moreano Ana Belèn Firma:  Fecha: 09-15/ 09/ 2022				Técnico responsable de la recepción de la muestra en el laboratorio Nombre: Dr.ing. Rodny Peñeñiel Firma:  Fecha: 09-15 / 09/ 2022	
					Hora de entrega: 16:00				Hora de entrega: 16:30				Hora de entrega: 16:30	

Fuente: modificada (Guachamin & Pérez, 2021)

Anexo 4. Determinación de dureza.

Tabla 15. Concentración promedio de calcio y magnesio en muestras de agua

	P1	P2	P3	P4	P5
Mg ⁺²	13,11	10,67	9,67	10,11	8,78
Ca ⁺²	11,68	15,17	16,96	18,12	7,66

- Cálculo demostrativo de dureza

$$\text{Dureza permanente total} = 2.5(\text{Ca}^{+2}) + 4.1(\text{Mg}^{+2})$$

$$\text{Dureza permanente total} = 2.5(11.68) + 4.1 (\text{Mg})$$

$$\text{Dureza permanente total} = 83.75 \text{ Ca CO}_3$$

Anexo 5. Material preparado para el análisis microbiológico y metodología de filtración por membrana

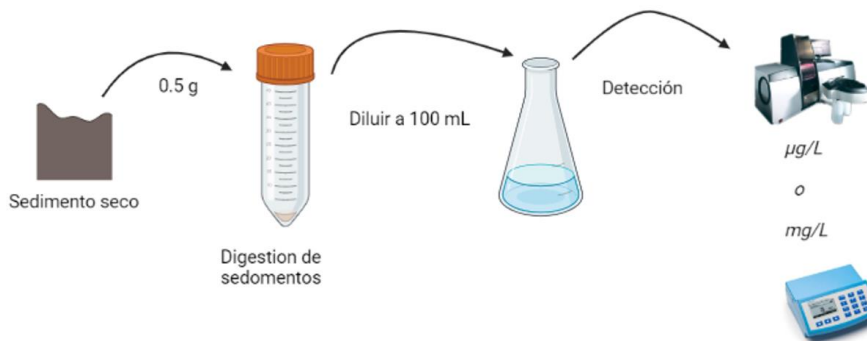


Anexo 6. Cálculo para la obtención de las unidades en mg/kg en las muestras de sedimentos

Tabla 16. Resultado promedio de metales de sedimentos en unidades mg/L y µg/L

Metales	Unidades	P5	P4	P3	P2	P1
Cu ⁺²	mg/L	0.89	1.00	0,99	0.99	1.16
Cr ⁺⁶	mg/L	25.11	14.56	31.67	14.67	22.22
Fe	mg/L	2.27	1.00	1.83	1.46	2.57
Mn	mg/L	0.57	0.48	0.44	0.43	0.31
Ni	µg/L	42.61	20.60	18.26	68.77	4.529
Pb	µg/L	10.43	52.49	44.86	13.52	11.16
Cd	µg/L	2.99	0.90	9.03	1.21	0.76
As	µg/L	39.09	45.80	23.22	32.26	55.17

- Cálculo demostrativo de cambio de unidades de mg/L a mg/kg



Fórmula

$$\text{mg/kg} = \left(\frac{x \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{\frac{0.5 \text{ g}}{0.1 \text{ L}}} \right) \text{ o } \left(\frac{X \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{\frac{5 \text{ g}}{\text{L}}} \right)$$

- Cálculo demostrativo para el cobre

$$\text{mg/kg} = \left(\frac{0.89 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{\frac{5 \text{ g}}{\text{L}}} \right)$$

$$\text{mg/kg} = 0.178 \frac{\text{mg}}{\text{g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{\text{kg}}$$

$$\text{Cu}^{+2} \text{ mg/kg} = 178 \text{ mg/kg}$$

- Cálculo demostrativo de cambio de unidades de $\mu\text{g/L}$ a mg/kg

$$\text{mg/kg} = \left(\frac{x \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}}{\frac{0.5 \text{ g}}{0.1 \text{ L}}} \right) \text{ o } \left(\frac{x \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}}{5 \frac{\text{g}}{\text{L}}} \right)$$

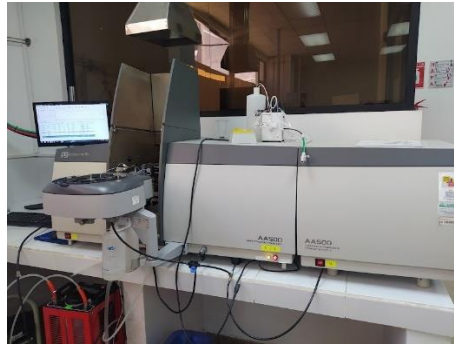
- Calculo demostrativo para el Ni

$$\text{mg/kg} = \frac{42.61 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}}{5 \frac{\text{g}}{\text{L}}}$$

$$\text{Ni mg/kg} = 8.524 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \times \frac{1 \text{ gm}}{1000 \mu\text{g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{Ni mg/kg} = 8.524 \text{ mg/kg}$$

Anexo 7. *Uso del GFASS para la medición metales en muestras de aguas y sedimentos.*



Anexo 8. *Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014.*

Tabla 17. *Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014*

Parámetro	Expresados como	Unidades	Tablas TULSMA, Anexo 1 del del Libro VI			INEN
			Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	
pH	pH		de 6 - 9	6,5-9	de 6 - 9	
Oxígeno disuelto	OD			> 80 %	3 mg/L	

Turbidez	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	100,00			5
Sólidos suspendidos totales	Sólidos suspendidos totales	mg/L		max incremento de 10% de la condicion natural		
Coliformes fecales	NPM	NPM/100ml	1000		1000	
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	<4	40		
Demanda Biológica de Oxígeno (5 días)	DBO	mg/L	<2	20		
Amonio		mg/L				
Nitrato	NO ₃	mg/L	50	13		50
Fosfato		mg/L				
Cloruros		mg/L				
Sulfatos	SO ₄	mg/L	250		250	250
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,05		0,1	
Cobre	Cu	mg/L	2,0	0,005	2,0	2,0
Zinc	Zn	mg/L	5,00	0,03	0,2	
Cadmio	Cd	mg/L	0,003	0,001	0,05	0,003
Níquel	Ni	mg/L		0,025	0,2	0,07
Cromo	Cr	mg/L		0,032		0,05
Plomo	Pb	mg/L	0,01	0,001	5,0	0,01
Arsénico	As	mg/L	0,1	0,05	0,1	
Hierro	Fe	mg/L	1,0	0,3	5,0	
Manganeso	Mn ²⁺	mg/L		0,1	0,2	

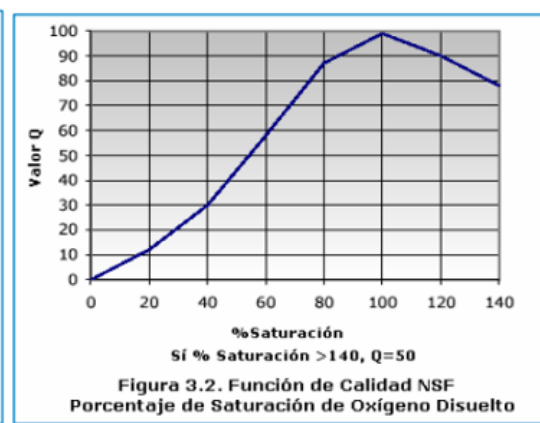
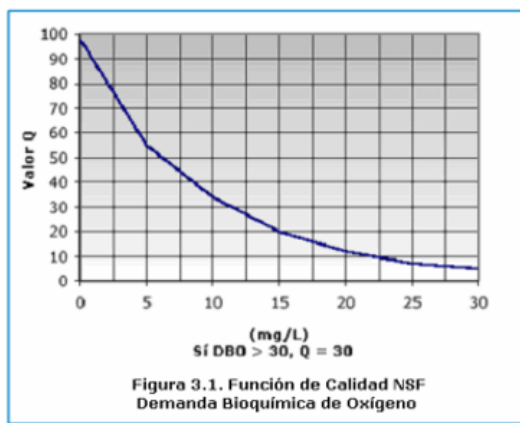
Fuente: (INEN 1108, 2014; Núñez, 2015)

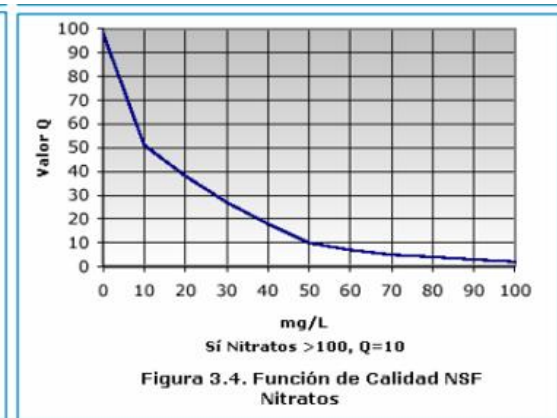
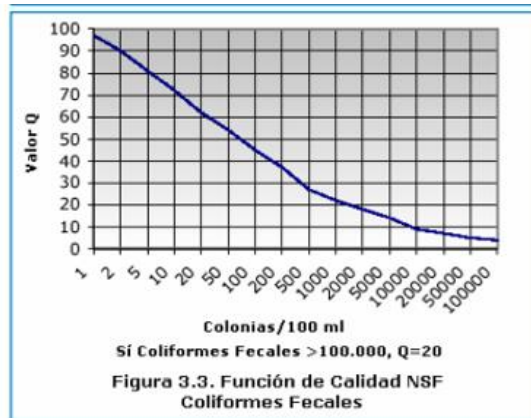
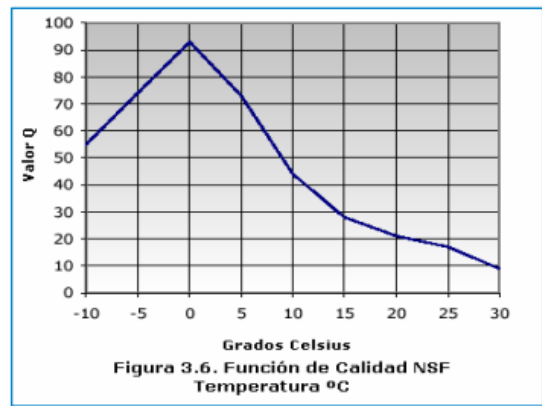
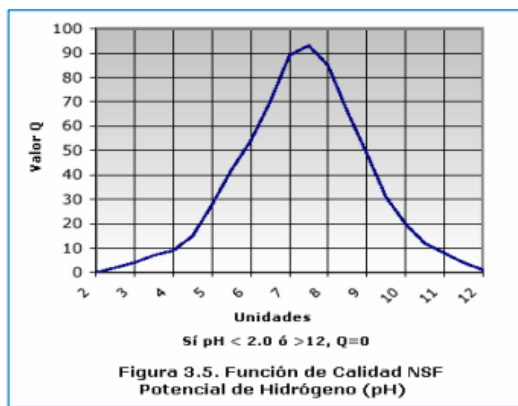
- Criterios de Calidad del suelo tabla 1, Anexo 2 del Libro VI TULSMA

Parámetro	Unidades*	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*

Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

Anexo 9. Creación de los subíndices para el cálculo del índice de calidad NSF Qi





Ejemplo de interpolación para la obtención de los subíndices del pH

X	Y
7	89
8.87	Y
9	50

Formula

$$y = y_1 + \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right)(x - x_1)$$

$$y = 90 + \left(\frac{50 - 89}{9 - 7}\right)(8.87 - 7)$$

$$y = 90 + (-19.5)(1.87)$$

$$y = 90 - 36,45$$

$$y = 53.55$$

Tabla 18. Subíndices del ICA NSF

PARAMETROS	Qi					Wi corregido
	P5	P4	P3	P2	P1	
Oxígeno disuelto	90,40	91,20	91,85	92,35	93,65	0,18
pH	53,55	64,40	95,55	74,55	73,50	0,12
Nitratos	71,60	70,20	89,20	90,20	92,20	0,11
Coliformes Fecales	19,93	14,45	9,35	20,09	19,87	0,17
Temperatura	61,67	67,74	81,86	81,60	83,28	0,11
Turbidez	94,03	92,85	92,29	95,25	94,62	0,09
Solidos disueltos fosfatos	86,20	86,44	87,16	87,16	87,16	0,08
	20,00	25,34	28,26	33,20	80,02	0,11

Anexo 10. Cálculo del índice de calidad NSF para el punto 5

$$ICA = \sum_{i=1}^n QiWi$$

$$ICA-NSF = 90,40*0,18 + 53,55*0,12 + 71,6*0,11 + 19,93*0,17 + 61,67*0,11 + 94,03*0,09 + 86,20*0,08 + 20*0,11$$

$$ICA-NSF = 16,63+6,64+8,16+3,47+7,03+8,84+7,24+2,28$$

$$ICA-NSF = 60$$

Anexo 11. Cálculo del índice de calidad Dinius

Este índice consta de 12 parámetros, pero es en este trabajo solo se utilizaron 10, el valor del factor de ponderación de los parámetros faltantes se dividió para 10 y se sumó para cada uno. Con esto se logró ajustar la ponderación

Tabla 19. *Ajuste de factor de ponderación*

Parámetros	Wi	Wi REC
1 Oxígeno disuelto	0,109	0,13
2 pH	0,077	0,10
3 DBO	0,097	
4 Nitratos	0,09	0,11
5 Coliformes Fecales	0,116	0,14
6 Temperatura	0,077	0,10
7 Conductividad	0,079	0,10
8 Color	0,063	
9 Cloruros	0,074	0,10
10 Col. Totales	0,09	0,11
11 Alcalinidad	0,063	
12 Dureza	0,065	0,09
suma de ponderación	1,00	1,00

- Ecuación para de Qi para oxígeno disuelto

$$Q_i = 0,82 \cdot OD + 10,56$$

$$Q_i = 0,82(119,2) + 10,56$$

$$Q_i = 108,30$$

Tabla 20. *Obtención de subíndices para el cálculo de Dinius*

Parámetros	Qi				
	P1	P2	P3	P4	P5
Oxígeno disuelto	108,30	106,99	105,93	105,11	102,97
pH	48,35	55,78	89,19	65,67	64,67
Nitratos	91,43	90,29	118,96	122,11	133,73
Coliformes Fecales	37,25	33,63	31,28	37,30	36,85
Temperatura	52,36	51,36	69,08	68,66	71,12
Conductividad	93,88	95,69	101,30	101,30	101,56
Cloruros	296,71	278,91	404,05	347,80	331,28
Col. Totales	32,03	38,65	37,28	43,67	42,03
Dureza	75,66	76,26	76,13	74,24	90,89

- Cálculo exponencial del subíndice Qi y factor de ponderación Wi del oxígeno disuelto

$$Qi^{Wi} = 108.3^{0.12}$$

$$Qi^{Wi} = 1,77$$

Tabla 21. Resultados del subíndice elevado al factor de ponderación

Parámetros	Qi^{Wi}				
	P1	P2	P3	P4	P5
Oxígeno disuelto	1,87	1,87	1,87	1,86	1,86
pH	1,48	1,51	1,58	1,53	1,53
Nitratos	1,68	1,68	1,73	1,74	1,75
Coliformes					
Fecales	1,66	1,64	1,62	1,66	1,66
Temperatura	1,50	1,49	1,54	1,54	1,54
Conductividad	1,60	1,61	1,61	1,61	1,62
Cloruros	1,75	1,74	1,81	1,78	1,77
Col. Totales	1,49	1,52	1,51	1,54	1,54
Dureza	1,47	1,48	1,48	1,47	1,50
ICA-Dinius	72	73	83	83	84

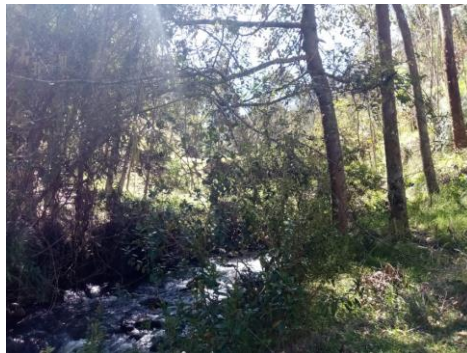
- Cálculo del incides de Dinius

$$ICA - Dinius = \prod_{i=1}^n [Qi^{Wi}]$$

$$ICA - Dinius = 1,87 * 1,48 * 1,66 * 1,50 * 1,60 * 1,75 * 1,49 * 1,47$$

$$ICA - Dinius = 72$$

Anexo 12. Zona alta de la microcuenca del río Alajua



Anexo 13. *Vía Pungoloma -Quisapincha río Alajua*



Anexo 14. *200 m debajo de la vía Pungoloma - Quisapincha*



Anexo 15. *200 m aguas arriba de la planta de tratamiento EP-EMAPA Tilulum (zona Aguján)*



Anexo 16. *Planta de tratamiento EP-EMAPA Tilulum (zona Aguajan)*

