

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



Tema: Caracterización de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos de la microcuenca del río Colorado

Informe Final del Trabajo 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

Autora: Adriana Jacqueline Frias Carrion.

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, 13 de Febrero del 2023

Dr-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

C.I. 1712283520

Tutor

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Adriana Jacqueline Frias Carrion, 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 en Biotecnología, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Adriana Jacqueline Frias Carrion

C.I. 1850148923

Autora

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS 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.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Dr. Mario Daniel García Solís

C.I. 110360547-1

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

C.I. 180270659-6

Ambato, 07 de Marzo del 2023

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que considere el presente 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.



Adriana Jacqueline Frias Carrion

C.I. 1850148923

Autora

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi abuelita María Dolores Bastidas, a mis padres Manuel Frias, Jacqueline Carrión y a mi hermana Erika Frias quienes me han brindado su apoyo y confianza para salir adelante. A Santiago López, por ser una persona incondicional quien ha estado a mi lado desde el inicio de mi carrera profesional, alentándome a superar cada obstáculo y reto en la vida.

Con mucho cariño, Adriana Jacqueline Frias Carrion.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad cada día de salir adelante y estar con las personas importantes para mí.

A mi abuelita, mis padres y hermana por su amor, paciencia y apoyo en mi formación profesional.

A la centinela de mi vida Santiago López, quien ha estado siempre presente en los momentos más difíciles de mi vida, brindándome su amor incondicional cada día, alentándome a salir adelante para cumplir mis logros profesionales.

A toda la familia Pilco Carrión, al cariño de Nelson Rosero y amigos cercanos Viviana Chiriboga, Edison Sánchez y Saúl Sarabia, por su ayuda brindada en algunos contratiempos, también por sus palabras de aliento y motivación.

A mi tutor PhD. Rodny Peñafiel por compartir su conocimiento y experiencia en cada etapa de elaboración del presente proyecto de investigación para lograr los objetivos propuestos.

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 espacio para la realización del proyecto.

Y a todas las personas que formaron parte de mi preparación profesional, gracias.

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.2. Calidad del agua.....	1
1.1.3. Características fisicoquímicas del agua	2
1.1.3.1. Características físicas: temperatura y turbidez.....	3
1.1.3.2. Características químicas.....	3
Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	3
Dureza	4
Oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH) y potencial redox (ORP).....	4
Conductividad	5
Potencial rédox (ORP)	5
1.1.3.3. Metales presentes en los recursos hídricos	5
1.1.4. Métodos empleados para la detección de metales en aguas y sedimentos ..	8

1.1.4.1. Método fotométrico de Hanna	8
1.1.4.2. Espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito (GFAAS)	9
1.1.5. Indicadores microbiológicos de contaminación	9
1.1.5.1. Coliformes totales (CT).....	10
1.1.5.2. Coliformes fecales (CF)	10
1.1.5.3. Métodos para detección de coliformes en aguas.....	10
1.1.6. Fuentes de contaminación del agua en los ríos y sedimentos.....	11
1.1.6.1. Generalidades	11
1.1.7. Contaminación de la cuenca alta del río Ambato	12
1.1.8. Programa de monitoreo y muestreo del agua superficial en los ríos	13
1.1.9. Índice de Calidad del Agua (ICA)	14
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo General.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
CAPITULO II	16
METODOLOGÍA	16
2.1. Materiales	16
2.1.1. Reactivos de laboratorio	16
2.1.2. Instrumentos de laboratorio	16
2.1.3. Equipos de laboratorio	17
2.1.4. Insumos de laboratorio.....	18
2.1.5. Materiales de escritorio.....	18
2.2. Métodos	19
2.2.1. Programa de monitoreo del río Colorado	19
2.2.2. Tipo de muestro	19

2.2.3. Recolección de las muestras	19
2.2.3.1 Preservantes, transporte y almacenamiento	20
2.2.4. Detección de los parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	21
2.2.5 Detección de los parámetros fisicoquímicos en laboratorio	21
2.2.5.1 Análisis microbiológico de muestras de agua.....	21
2.2.5.2. Determinación de parámetros mediante el fotómetro multiparamétrico	22
2.2.5.3. Determinación de metales por absorción atómica en horno de grafito (GFAAS).....	23
2.2.5.4. Determinación de pH y conductividad en sedimentos.....	24
2.2.5.5. Tratamiento de las muestras de sedimentos y procedimiento de análisis	24
2.2.6. Comparación de los valores obtenidos con los reportados en el Libro VI del TULSMA	25
2.2.7. Determinación del índice de calidad del agua (ICA).....	25
CAPÍTULO III	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	28
3.1.1. Programa de monitoreo del río Colorado y obtención de parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	28
3.1.2. Turbidez, pH y temperatura	29
3.1.3. Determinación del OD	30
3.1.4. Conductividad y SDT	30
3.1.5. ORP.....	31
3.1.6. Detección de CT y CF	31
3.1.5. Detección de parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de las muestras de aguas superficiales	34

3.1.6. Detección de parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de las muestras de sedimentos	38
3.1.7. Determinación del ICA	41
CAPÍTULO IV	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
4.1. Conclusiones	43
4.2. Recomendaciones.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	57
ANEXO A. Registro Fotográfico de las zonas de muestro en la microcuenca del río Colorado.	57
ANEXO B. Etiquetado y codificación de las muestras a recolectadas	59
ANEXO C. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio	60
ANEXO D. Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014.....	61
ANEXO E. Criterios de Calidad del suelo tabla 1, Anexo 2 del Libro VI TULSMA	62
ANEXO F. Factores de ponderación según el ICA – NSF y Dinius.....	63
ANEXO G. Valores obtenidos del ICA – NSF y Dinius	64
ANEXO H. Rangos de clasificación del ICA – NSF y Dinius	66
ANEXO I. Curvas de calidad de cada parámetro según el ICA – NSF	67
ANEXO J. Cadena de custodia	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos presentes en las aguas de las fuentes hídricas	6
Tabla 2. Reactivos de laboratorio.....	16
Tabla 3. Instrumentos de laboratorio	16
Tabla 4. Equipos de laboratorio	17
Tabla 5. Insumos de laboratorio.....	18
Tabla 6. Materiales de escritorio.....	18
Tabla 7. Código de la muestra e identificación de los puntos de muestreo	20
Tabla 8. Parámetros por considerar para la determinación de metales por GFAAS. 24	
Tabla 9. Parámetros geográficos y condiciones meteorológicas tomados in situ en los puntos de muestreo del agua superficial	28
Tabla 10. Resultados en UFC/100mL de CT y coliformes fecales CF, en muestras de aguas superficiales	32
Tabla 11. Resultados del análisis en el laboratorio realizado de los parámetros fisicoquímicos en las aguas superficiales.....	34
Tabla 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de sedimentos.....	38
Tabla 13. Valores obtenidos según el ICA – NSF	41
Tabla 14. Valores obtenidos según el ICA de Dinius	42
Tabla 15. Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014	61
Tabla 16. Factores de ponderación (W_i) según el ICA – NSF.....	63
Tabla 17. Función de subíndices y ponderaciones para cada parámetro según Dinius	63

Tabla 18. Valores de ICA – NSF con la aplicación de la fórmula $(S_i) \times (W_i)$	64
Tabla 19. Valores de ICA de Dinius con la aplicación de la fórmula $S_i^{W_i}$	65
Tabla 20. Clasificación del ICA - NSF	66
Tabla 21. Clasificación del ICA de Dinius	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. División Hidrográfica de la subcuenca del río Ambato	13
Figura 2. Diagrama de flujo del método por filtrado de membrana (MF)	21
Figura 3. Primer punto de muestreo (P1) en la zona alta del río cercana a una estación meteorológica.....	57
Figura 4. Segundo punto de muestreo (P2) en el afluente medio del río Colorado ..	57
Figura 5. Tercer punto de muestreo (P3), cercano al cruce del afluente medio del río	58
Figura 6. Cuarto punto de muestreo (P4) en el afluente bajo cercano a lecherías	58
Figura 7. Quinto punto de muestreo (P5) en el sector cercano al cruce bajo con el río Colorado.....	59
Figura 8. Etiqueta y codificación de muestras	59
Figura 9. Preparación del material y procedimiento para la determinación de coliformes mediante el método MF	60
Figura 10. Ilustración de la determinación de CT (A) y CF (B) del P4 en la dilución 10^{-1}	60
Figura 11. Uso del fotómetro HANNA para la medición de parámetros fisicoquímicos en muestras de aguas y sedimentos	60

Figura 12. Uso del GFASS para la medición metales en muestras de aguas y sedimentos.....	61
Figura 13. Valores reportados en Anexo 2 del Libro VI TULSMA sobre los criterios de calidad del suelo	62
Figura 14. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO, % de Saturación de OD, CF, Nitratos, pH y temperatura	67
Figura 15. Valoración de la calidad de agua en función STD, fosfatos y turbidez	68

RESUMEN

La presente investigación pretende caracterizar la calidad del agua y determinar la concentración de metales pesados en los sedimentos de la microcuenca del río Colorado para la evaluación del grado de contaminación mediante el índice de calidad del agua (ICA), para lo cual se llevó a cabo un monitoreo en septiembre del 2022, tomando 5 estaciones de muestreo a lo largo del río Colorado. Por otra parte, el análisis de las características fisicoquímicas se realizó considerando los límites permisibles de la Normativa de Calidad Ambiental (TULSMA) establecidos en el anexo 1, para aguas y en el anexo 2, para el suelo. Se interpretó los valores ICA a través de la escala de clasificación del NSF y Dinius. Los resultados parámetros fisicoquímicos que excedieron los límites permisibles en aguas fueron: coliformes fecales, zinc, plomo, hierro y manganeso. En cambio, las mediciones que excedieron los criterios de calidad del suelo fueron: cromo hexavalente, cadmio y cobre.

De acuerdo con lo antes mencionado se estimó una calidad regular del agua mediante el ICA-NSF. Por otra parte, el agua se clasificó en contaminada a excepción del P3 que fue aceptable a través del ICA de Dinius. La afección en las zonas de muestreo en aguas superficiales se debe principalmente a las actividades antrópicas como la presencia y deposición de las heces de animales; así como también a las descargas de aguas domésticas y a la temporada de estiaje, lo cual permitió indagar sobre el deterioro de la calidad del agua en el río Colorado.

Palabras claves: metales pesados, calidad del agua, gestión ambiental, temporada de estiaje, actividades antrópicas, coliformes fecales, coliformes totales, eutrofización.

ABSTRACT

The present investigation aims to characterize the quality of the water and determine the concentration of heavy metals in the sediments of the Colorado River micro-basin for the evaluation of the degree of contamination through the water quality index (ICA), for which it was carried out a monitoring in September 2022, taking 5 sampling stations along the Colorado River. On the other hand, the analysis of the physicochemical characteristics was carried out considering the permissible limits of the Environmental Quality Regulation (TULSMA) established in annex 1, for water and in annex 2, for soil. The ICA values were interpreted through the NSF and Dinius classification scale. The results physicochemical parameters that exceeded the permissible limits in water were: fecal coliforms, zinc, lead, iron and manganese. On the other hand, the measurements that exceeded the soil quality criteria were: hexavalent chromium, cadmium and copper.

In accordance with the aforementioned, a regular water quality was estimated using the ICA-NSF. On the other hand, the water was classified as contaminated except for P3, which was acceptable through the Dinius ICA. The condition in the sampling areas in surface waters is mainly due to anthropic activities such as the presence and deposition of animal feces; as well as domestic water discharges and the dry season, which allowed us to investigate the deterioration of water quality in the Colorado River.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.2. Calidad del agua

La calidad del agua es el factor de primera necesidad que se relaciona de forma directa con el bienestar del ser humano, depende de las condiciones en las cuales se encuentra, respecto a sus características físicas, químicas y biológicas ya sea en su estado natural o alterada. La calidad del agua puede determinarse al comparar las características antes mencionadas de una muestra de agua con directrices de calidad dependiendo el uso que se le quiera dar (OMS, 2011).

En Ecuador, existen criterios de calidad del agua para la preservación de la vida acuática, consumo humano y para riego agrícola, según el anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes al recurso Agua descrito por el MAE (2015). Así mismo el agua potable destinada al consumo humano debe cumplir con los requisitos de calidad establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización de acuerdo con el NTE INEN 1108 (2014); sin embargo, no todos los requisitos se cumplen, debido a la presencia de varias sustancias contaminantes procedentes de las corrientes receptoras, lo cual exige la aplicación de tratamientos costosos principalmente en aquellas comunidades con un bajo recurso económico y nivel técnico.

Por otra parte, un río puede arrastrar varias sustancias tóxicas por lo que es considerado como un reactor permanente de mezclado cuyos aspectos que controlan su calidad y dinámica son los factores constitutivos del mismo; es decir del agua que posee y el paisaje de la fuente hídrica. La exposición a compuestos tóxicos puede ocasionar un efecto negativo a largo plazo en los seres vivos; a pesar de aplicar tratamientos convencionales no es posible eliminarlos por completo, por lo que la alternativa más

segura es la de proteger el agua desde su fuente. De modo que la conservación de la calidad del agua es importante ya que de su calidad depende su uso, el bienestar para la salud humana y el medio ambiente (**Rivera, 2014**).

Es preciso mencionar que la calidad del agua en los ríos depende de las características naturales del suelo y geología de la cuenca, subcuenca o microcuenca hidrográfica y a la concentración de las sustancias presentes en un momento determinado, las cuales son variables con el tiempo y pueden ser de origen natural o introducidas por el hombre debido a las actividades antropogénicas que realiza (**Fournier et al., 2019**). Una gestión adecuada junto con el uso de indicadores relacionados con la calidad del agua contribuyen alcanzar y evidenciar la consecución de las metas establecidas en uno de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), vinculado al objetivo 6 que trata sobre el agua limpia y saneamiento; a la protección y restauración de los ecosistemas relacionados con el agua para garantizar de forma segura y asequible a todas las personas especialmente aquellas que carecen de servicios básicos (**Naciones Unidas, 2018**).

1.1.3. Características fisicoquímicas del agua

Los eventos naturales ya sean climatológicos, geográficos, geológicos o debido a varias fuentes de contaminación, causan la alteración significativa de las características físicas, químicas y biológicas del agua. Según **Domènech & Peral (2012)** el agua incorpora y disuelve una gran variedad de sustancias; debido a su característica polar para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias haciendo que las mismas se disuelvan con facilidad (**Li et al., 2021**). En consecuencia, puede conllevar a la alteración de la calidad del agua en los recursos hídricos y por ende a la proliferación de enfermedades transmitidas por aguas contaminadas, como hace referencia el estudio de **Vinueza et al., (2021)** y **Gualdrón (2016)** quienes realizaron la caracterización del agua en diferentes ríos del Ecuador y Colombia, evidenciando varios cambios significativos en las propiedades del agua como producto del vertimiento de aguas residuales no tratadas.

1.1.3.1. Características físicas: temperatura y turbidez

Las características físicas son aquellos parámetros que inciden directamente sobre las condiciones estéticas del agua, así como la temperatura, definida como una medida del calor del cuerpo de agua que varía respecto al clima y a la ubicación geográfica, dicha variación incide en el ecosistema fluvial puesto que determina la abundancia de ciertos organismos vivos. La alteración de este parámetro afecta de forma directa en los procesos biológicos, fisicoquímicos, nutrientes y a la solubilidad de varios elementos en el agua (Yang et al., 2021).

Por otra parte, la turbidez es una propiedad que representa la suma de la cantidad de materia, sedimentos o sólidos en suspensión, cuyo incremento reduce la entrada de luz en el agua (Miljojkovic et al., 2019), ocasionando la disminución de la actividad fotosintética en las plantas y algas, reduciendo de esta manera la concentración de oxígeno en la fuente hídrica y afectando el crecimiento de los organismos vivos (Herzig et al., 2007).

1.1.3.2. Características químicas

La composición química natural del agua puede verse alterada a causa de la incorporación e interacción con otros compuestos o sustancias químicas como ácidos, sales, detergentes o metales tóxicos de diferente naturaleza.

Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

La DQO proporciona información sobre el número de equivalentes de oxígeno consumidos en la oxidación de la materia orgánica, debido a la exposición de agentes oxidantes como el permanganato o el dicromato. Por otra parte, la medición de la DBO permite medir la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en una muestra de agua. En este

sentido, la DQO y DBO han sido ampliamente utilizadas como criterios para la valoración de la calidad del agua (Yao et al., 2015).

Dureza

Es causada por la presencia de iones metálicos divalentes como el Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Sr^{+2} y aniones como los sulfatos SO_4^{2-} , bicarbonatos HCO_3^- , cloruros Cl^- , silicatos y nitratos NO_3^- (Soto, 2010). Las concentraciones de las sustancias antes mencionadas varían debido a la composición y lixiviación de los terrenos o del lecho rocoso del que procede la fuente de agua, como consecuencia los niveles altos o bajos podrían causar problemas de corrosión, descamación o un cambio en el sabor del agua (Kozisek, 2020).

Oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH) y potencial redox (ORP)

El oxígeno en el agua proviene del intercambio con la atmósfera y la interacción con el producto de la fotosíntesis de algas y plantas acuáticas. La cantidad de OD en el agua define la salud del ecosistema acuático ya que permite la supervivencia de una gran diversidad de organismos que llevan a cabo los procesos metabólicos (Rajesh & Rehana, 2022). Además, otro de los parámetros vinculados al agua y a la vida acuática es el pH o la cantidad de iones hidrógeno presentes en el agua, cuya medición permite determinar la acidez o alcalinidad del agua, así mismo saber si el agua es apta o no para el consumo humano, agrícola o para biota acuática (Liang et al., 2023).

Posteriormente, este parámetro se relaciona con la temperatura ya que su variación provoca la disminución o aumento de pH, lo cual altera la concentración de otras sustancias en el agua y modifica su nivel de toxicidad, por ejemplo, en aguas extremadamente ácidas los metales como el Zn, Cu y Pb entre otros se disuelvan con facilidad, los cuales, al ser ingeridos por los organismos vivos, causan daños a la salud (Pérez, 2016).

Conductividad

Por otro lado, según **Medina et al., (2016)** la conductividad en el agua se considera como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica ya que indica la cantidad de iones procedentes de las sales disueltas como el sodio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, etc. La solubilidad de las sales de acuerdo con el estudio de **Solís et al., (2017)**, depende de la temperatura y la cantidad de sustrato ya sea de origen geológico o procedente del vertido de las aguas residuales de diferentes fuentes; causando la alteración de esta característica y la afección de los organismos vivos.

Potencial rédox (ORP)

A través de esta magnitud se puede medir la energía química de oxidación – reducción; debido a que el intercambio de electrones de sustancias oxidantes y reductoras presentes en el cuerpo de agua que causan una tensión eléctrica, la cual es medida con un electrodo de referencia, convirtiendo la energía química en eléctrica (**Galvín, 2019**). Esta medida permite registrar en tiempo real, el potencial de desinfección del agua y por ende su calidad, esto de acuerdo con lo descrito por la OMS en 1971 que considera a la ORP como una alternativa de calidad sanitaria, estableciendo valores por encima de 650 mV como libre de altas concentraciones de microorganismos patógenos (**Cano & Carrera, 2020**).

Cabe señalar que las reacciones redox se relacionan con el contenido de oxígeno en el medio y con el pH, puesto que cuando el agua se oxida se produce el aumento de iones hidronio causando su acidificación; en cambio cuando ocurre una reducción, se incrementan los iones hidroxilo ocasionando la alcalinización del agua (**Prieto, 2022**).

1.1.3.3. Metales presentes en los recursos hídricos

Los metales pueden estar presentes de forma natural por la erosión y la dilución de minerales en los recursos hídricos, también por fuentes antropogénicas; cabe mencionar que algunos metales son esenciales para los organismos vivos y su

deficiencia puede afectar las funciones biológicas; sin embargo, al presentarse en exceso pueden ser tóxicos para el ser humano, plantas y animales. Algunos de los metales presentes en las aguas de origen antrópico se detallan en la tabla 1.

Tabla 1.

Elementos presentes en las aguas de las fuentes hídricas

Elemento	Fuentes	Efectos e importancia
Plomo (Pb)	Residuos industriales el automotriz, en la fabricación de baterías, pinturas, esmaltes, soldaduras de latas, en el revestimiento de tubería, cables, entre otros.	Tóxico y perjudicial en los seres vivos.
Cadmio (Cd)	Residuos industriales, minería, fundición de metales, alimentos fosfatados, fertilizantes, lodos residuales, estiércol, etc.	Causa varias enfermedades debido a su efecto tóxico.
Cobre (Cu)	Recubrimientos metálicos en las tuberías, minería, residuos industriales	Elemento traza esencial; sin embargo, es tóxico como Cu^{+2} para los organismos en niveles altos.
Cromo (Cr)	Recubrimientos metálicos, descargas de efluentes y emisiones industriales, a la combustión de combustibles fósiles, sólidos municipales o desechos peligrosos, etc.	Esencial en estado Cr (III), tóxico como Cr (VI).
Níquel (Ni)	Residuos industriales, derivadas del petróleo, carbón o combustibles fósiles, aguas residuales, etc.	Tóxico para la vida humana, plantas y animales.
Zinc (Zn)	Residuos industriales y metalúrgica.	Elemento traza esencial pero tóxico para las plantas en niveles altos.

Fuentes: Elaboración propia, modificado de **Manahan (2007)**.

El Pb causa efectos nocivos en los seres vivos como hace referencia **Ramírez (2005)**, cuyo estudio realizado indica que este metal en forma inorgánica puede ingresar al organismos por vía digestiva y respiratoria en cantidades considerables; en cambio en forma orgánica puede entrar por vía dérmica en cantidades mínimas; sin embargo su grado de absorción depende de la concentración en la que se encuentre en el medio ambiente y del tiempo de exposición en los seres vivos (**Rodríguez et al., 2016**).

Por otra parte, el Cd al encontrarse en diferentes fuentes de exposición puede ser absorbido en el cuerpo humano y permanecer en un tiempo estimado de 10 a 30 años, cuyos efectos tóxicos se manifiestan en los riñones, hígado y huesos, afectando también a las funciones respiratorias, propiciando varias enfermedades como insuficiencia renal, disfunción pulmonar, molestias torácicas, alteraciones en las actividades enzimáticas del hígado, entre otras (**Azcona & Pérez, 2012**). Su mecanismo por el cual se originan estas afecciones no es del todo claro, pero presume que pueden deberse a trastornos relacionados con el metabolismo. Además, el Cd en forma de sulfato y sales de cloruro de Cd es más soluble en aguas y más móvil por lo que puede bioacumularse (**Hossain et al., 2019**).

Si bien es cierto el cobre es esencial para los organismos vivos ya que forma parte de la estructura de varias enzimas y moléculas biológicas, aunque su mecanismo de transporte en la actualidad aún no está dilucidado; su toxicidad se debe a su estado oxidado Cu^{+2} ya que puede formar complejos con varias sustancias halladas tanto en aguas limpias como contaminadas (**OMS, 2011**). Además, su exposición por largos períodos de tiempo, una vez dentro del organismo causa una serie de malestares como dolor de cabeza, irritación en la boca, ojos, nariz, ocular, olfativa, inclusive un deterioro celular que afecta al hígado y riñones (**Rodríguez, 2017**).

El Cr puede existir en varias formas químicas y estados de oxidación en el ambiente por diferentes vías de exposición. De acuerdo con **Drinčić et al., (2018)**, la exposición del cromo hexavalente provoca problemas en la salud, ya que es considerado carcinogénico en humanos. En cambio, el cromo trivalente es esencial para la vida

humana ya que interviene en el balance normal del metabolismo de la insulina, colesterol, ácidos grasos y múltiples procesos biológicos (Monga et al., 2022).

Así mismo, El Zn es un componente esencial ya que participa en la síntesis de proteínas; cabe mencionar que su adsorción es posible mediante proteínas animales en cantidades adecuadas (Alarcón, 2009). Según varias investigaciones, la recuperación de Zn a partir de los desechos industriales es de gran importancia para reducir los costos de obtención; además de mejorar la disposición ambiental del mismo ya que este residuo se considera peligroso al estar acompañado de otros metales como el Cd, Pb, As o el Cr, lo cual ocurre en aguas contaminadas (Barbooti, 2015).

Es preciso señalar que el Ni, también puede formar gran variedad de especies con otras sustancias, siendo su estado de oxidación +2 la más abundante. Su toxicidad en los seres vivos depende de varios factores como la especie química, su concentración y la fuente de exposición. Además, se conoce que es carcinogénico como hace referencia Olivares et al., (2014) en el que indica que el ion Ni^{+2} puede unirse a componentes proteicos celulares y al ADN, lo cual provoca múltiples alteraciones en la expresión genética; lo que conduce a una proliferación celular descontrolada hasta el desarrollo del cáncer (Schaumlöffel, 2014).

1.1.4. Métodos empleados para la detección de metales en aguas y sedimentos

La cuantificación de los metales en el agua de los ríos, así como también las partículas suspendidas en los sedimentos, es posible realizarlo mediante el método fotométrico o por espectrometría de absorción atómica en horno de grafito.

1.1.4.1. Método fotométrico de Hanna

El equipo tiene varios métodos programados de análisis, en el que se realiza la medición respectiva de la muestra, debido a la reacción que ocurre con un reactivo

determinado para producir un compuesto que absorbe luz, cuya intensidad es medida por el equipo. Además, posee un diseño óptico innovador que usa un detector referencial y un lente de enfoque para eliminar los errores debido a los cambios por defectos en la cubeta de vidrio o en la fuente lumínica (**Hanna, 2022**).

De esta forma, los parámetros sobre la calidad del agua ambiental pueden determinarse mediante el equipo fotométrico que es ampliamente utilizado tanto en los análisis de campo como en el laboratorio ya que proporciona exactitud y precisión a diferencia de otros métodos que son menos precisos y/o sensibles en cuanto a la determinación del analito (**Montes, 2018**).

1.1.4.2. Espectrofotómetro de absorción atómica por horno de grafito (GFAAS)

Este método es ampliamente utilizado para la identificación y cuantificación de elementos presentes en distintas matrices, por lo que se ha empleado en varios estudios de investigación; básicamente consiste en medir la absorción de luz en la longitud de onda resonante del elemento cuando la radiación de una lámpara espectral pasa a través del vapor atómico formado en el horno de grafito, el cual es calentado eléctricamente del espectrómetro durante la descomposición térmica de la muestra inyectada (**Castaño & Robledo, 2012**). Por lo que, la concentración de los elementos metálicos se determina a partir de la señal de la absorción integrada y se calcula utilizando un gráfico de calibración preestablecido (**Barbooti, 2015**).

1.1.5. Indicadores microbiológicos de contaminación

En las aguas de los ríos se encuentra una gran cantidad de diversos microorganismos los cuales pueden ser no patógenos y patógenos que causan enfermedades a los seres vivos, entre los cuales se encuentran los virus, algunos protozoos, algas y bacterias (**Arcos et al., 2005**). Esto ha dificultado la selección de un parámetro u organismo patógeno como indicador que permita medir la calidad microbiológica del agua por lo que se ha visto la necesidad de seleccionar como indicador todo un grupo como es el

caso de las bacterias coliformes, debido a que viven más tiempo y se encuentran en gran cantidad, lo que facilita que el análisis en el laboratorio sea más rápido (**Larrea et al., 2013**).

1.1.5.1. Coliformes totales (CT)

Se caracterizan por ser gram negativas aerobias y anaerobias facultativas, las cuales fermentan la lactosa a 35 - 37°C desde las 24 horas; también son capaces de soportar elevadas temperaturas por lo que se denominan termotolerantes. Comprende un grupo de microorganismos de varios géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* que habitan en la naturaleza y además, están relacionadas con el tracto intestinal de los humanos y animales; por tanto, su transmisión se debe a la excreta e ingesta de alimentos y aguas contaminadas. De manera que la presencia de este grupo bacteriano en el agua es un indicio de contaminación fecal debido a una posible presencia de organismos patógenos (**Hernández, 2002**).

1.1.5.2. Coliformes fecales (CF)

Son un grupo capaz de fermentar la lactosa a 44 – 44.5°C, en el cual se considera a *Escherichia coli* como uno de los indicadores de contaminación fecal más representativos, procedente de las heces de los seres vivos; es miembro del grupo de los coliformes termolaterantes, ya que puede sobrevivir fuera del intestino humano y animal, al ser favorecidas por las condiciones adecuadas en el medio ambiente donde se encuentran; por ende, su existencia en los recursos hídricos y en los alimentos indica una contaminación que es perjudicial para la salud pública (**Reitter et al., 2021**).

1.1.5.3. Métodos para detección de coliformes en aguas

Según menciona el estudio realizado por **Cruz (2013)** entre los métodos para la detección de coliformes se encuentran la prueba de los tubos múltiples de fermentación y la técnica mediante filtración por membrana, en los que se usan medios de cultivo específicos para la identificación de coliformes totales o coliformes fecales como hace

referencia el estudio de **Chiroles et al., (2009)**, en el que se detectó varios microorganismos patógenos para lo cual se incorporaron distintos medios de cultivos como el caldo verde brillante; caldo EC, LMX, agar Chromocult, m-FC, m-Endo, entre otros medios empleados para el monitoreo de la calidad sanitaria en el agua, con la finalidad de prevenir la transmisión de enfermedades.

1.1.6. Fuentes de contaminación del agua en los ríos y sedimentos

1.1.6.1. Generalidades

De acuerdo con lo mencionado por **Marchina et al., (2016)**, la contaminación de las aguas puede ser de origen natural relacionado al clima y geología del lugar que escasamente provoca altas concentraciones de contaminantes a excepción de las zonas relacionadas con yacimientos de minerales específicos. También la contaminación puede ser de origen antropogénico a causa de los vertidos de aguas residuales urbanas, agrícolas, domiciliarias, industriales o a explotaciones mineras, que conducen al aumento de microorganismos patógenos, desechos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas como metales tóxicos, ácidos y sales; también a nutrientes vegetales inorgánicos como nitratos y fosfatos, los cuales provocan una eutrofización al estar en altas concentraciones (**OPS, 1998**).

Pauta et al., (2019) indica en su estudio sobre la “Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador”, que los contaminantes pueden clasificarse como compuestos tóxicos que ocasionan la inhibición y destrucción de la actividad biológica como los hidrocarburos aromáticos, metales pesados, plaguicidas; entre otros, conocidos como compuestos refractarios, los cuales son resistentes a los procesos convencionales de tratamiento (**Garros & Safar, 2020**). Otros contaminantes en las aguas son los materiales que afectan el equilibrio del oxígeno en el agua como los agentes químicos reductores, materia orgánica, detergentes y grasas. Por otra parte, se encuentran los sólidos inertes en suspensión o disueltos en el agua que, al estar en altas concentraciones, pueden limitar el uso del líquido vital (**Manahan, 2007**).

Evidentemente, estos contaminantes, pueden estar presentes en las aguas de los recursos hídricos y en los sedimentos ya que los mismos, almacenan más del 99% de contaminantes, formando complejos con materia orgánica y óxidos, dando lugar a una bioacumulación de los metales pesados puesto que su movilidad es baja en los sedimentos; sin embargo, puede transportarse a los ríos en períodos alta descarga. De forma que las variaciones en cuanto a las condiciones fisicoquímicas de los sedimentos y el agua podrían influir en la movilización de especies metálicas en la fase disuelta, donde se vuelven más biodisponibles y pueden revelar formas químicas tóxicas al medio ambiente (**Probst et al., 2015**).

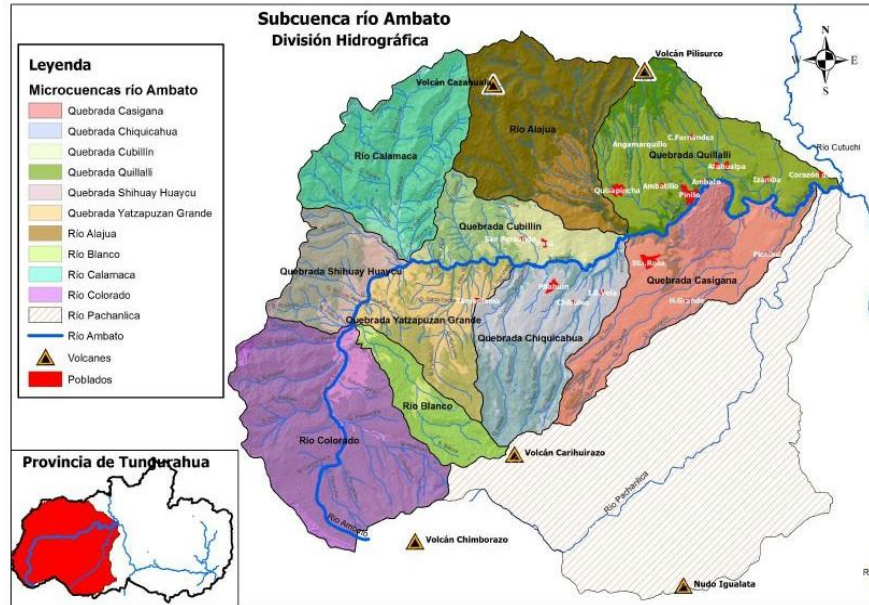
1.1.7. Contaminación de la cuenca alta del río Ambato

La subcuenca del río Ambato está ubicada en la en la cordillera occidental de la provincia de Tungurahua, la cual en el transcurso de los años hasta la presente fecha muestra una problemática ambiental, debido a las descargas diarias de aguas residuales procedentes de las actividades antrópicas. Por lo que se han realizado varios proyectos de investigación en torno a las diferentes microcuencas que conforman el río Ambato como se indican en la figura 1, especialmente en la cuenca media y baja debido a que existen zonas donde se ha presentado un índice de contaminación alto que excede los límites permisibles establecidos por la normativa vigente, según el estudio realizado por **Mendoza & Tingo, (2016)**.

Por otra parte, la cuenca alta a pesar de tener una calidad aceptable de acuerdo con lo reportado por **Calles (2015)**, puede verse afectada por efectos climatológicos como la elevada velocidad del viento, escasez de precipitaciones y por el avance de la frontera agrícola. En consecuencia, ocasiona la variabilidad de los factores fisicoquímicos y biológicos en los ríos que comprenden la cuenca alta como es el caso del río Colorado puesto que en su trayecto puede adquirir elementos tóxicos procedentes de algunos afluentes los cuales son variables en el tiempo y espacio (**Villamarín et al., 2014**).

Figura 1.

División Hidrográfica de la subcuenca del río Ambato



Fuente: (Pérez, 2015)

1.1.8. Programa de monitoreo y muestreo del agua superficial en los ríos

El monitoreo de la calidad del agua del recurso hídrico conlleva una serie de técnicas de diagnóstico que se complementan entre sí como el monitoreo y cuantificación de las características físicas, químicas y microbiológicas, los cuales son evaluados de acuerdo con los niveles guía de calidad ambiental reportados en las tablas TULSMA por el MAE (2015) y la OMS (2011).

Para esto es importante, considerar el diseño del programa de muestreo según la norma NTE INEN 2226 (2013) conforme al objetivo del trabajo de investigación que en este caso es la “Caracterización de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos de la microcuenca del río Colorado”. Luego, se realiza la colección de varias muestras representativas registradas con cadena de custodia y etiquetadas para su identificación, de acuerdo con los puntos de estudio considerando la norma NTE INEN 2176 (2013), así como también los materiales y procedimientos utilizados en investigaciones semejantes como el desarrollado por Khalaf, (2021).

Así mismo se considera la norma **NTE INEN 2169 (2013)** en la ejecución de los procesos adecuados para la preservación, transporte y almacenamiento de las muestras colectadas. Por otra parte, es preciso llevar a cabo los procedimientos analíticos específicos para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y concentración de metales pesados en el agua y sedimentos ya que son importantes para asegurar que los resultados obtenidos tengan validez y calidad.

1.1.9. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Sierra (2011), señala que el agua es de vital importancia ya que promueve la vida en la Tierra, de modo que la cuantificación de sus parámetros permite estimar el grado de contaminación de las fuentes de agua en un tiempo y espacio determinado a través del cálculo del ICA, en torno al cual se han desarrollado varias adecuaciones y modelos en el transcurso de los años por instituciones de control del recurso hídrico como hace referencia **Mendoza & Rosario (2004)** en su estudio “Indicadores de la Calidad del Agua: Evolución y tendencias a nivel global”, en el cual señala el método empleado y la cantidad de parámetros analizados para la conformación de un ICA, el cual va a depender del objetivo de evaluación, el lugar de estudio y la selección del número de parámetros a considerar.

De acuerdo con varias revisiones bibliográficas existen investigaciones realizadas en varias fuentes hídricas como hace referencia el estudio de **Andrade et al., (2020)** sobre “La Evaluación de la calidad del agua del río Chambo”, efectuada en época de estiaje donde el río reduce su capacidad de autodepuración; además, en su investigación utiliza el índice de calidad de la Fundación Nacional de Sanidad (NSF) de Estados Unidos, mediante el cual se determina una mala calidad antes de las descargas de aguas residuales; permitiendo establecer que el agua no es apta para el riego agrícola en comunidades aledañas. De la misma forma, otros estudios evalúan la calidad del agua haciendo uso de los diferentes modelos del ICA que existen, puesto que los mismos constituyen herramientas importantes para el manejo y control del recurso hídrico (**Uddin et al., 2021**).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Analizar la calidad del agua y la concentración de metales pesados en los sedimentos de la microcuenca del río Colorado – subcuenca del Río Ambato para la determinación del grado de contaminación.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en las muestras de agua superficial.
- Determinar la concentración de metales pesados en los sedimentos del Río Colorado.
- Comparar los resultados de la caracterización de agua y sedimentos con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.
- Evaluar la calidad del agua mediante el índice de calidad del agua (ICA).

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Reactivos de laboratorio

Tabla 2.

Reactivos de laboratorio

Detalle	Cantidad
Etanol al 75%	1 L
Agua destilada	5 L
Agua de peptona (tamponada), (MERCK, Estados Unidos)	400 g
Ampolletas con medio M-FC con ácido risólico de millipore (MERCK, Estados Unidos)	50
Ampolletas con medio M-ENDO de millipore (MERCK, Estados Unidos)	50
Kit Amonio; Sulfato; Nitrato; Fosfatos y Cloruro (HANNA)	60
Kit Cromo (VI); Zinc; Cobre (HANNA)	60
Kit de viales con reactivos DQO de rango alto (HANNA)	
Solución Estándar de Cadmio; Cromo; Níquel y Plomo	10 ml
Ácido Nítrico concentrado al 65% (MERCK, Estados Unidos)	90 ml
Peróxido de hidrógeno al 30% EMSURE®ISO	30 ml

2.1.2. Instrumentos de laboratorio

Tabla 3.

Instrumentos de laboratorio

Detalle	Cantidad
Frascos ámbar de vidrio	75
Frascos de orina (recipientes antisépticos)	60
Botella Van Dorn	1

Coolers	4
Palas	2
Balones de aforo	10
Desecador	2
Crisoles	10
Papel filtro	1 paquete
Filtros con membranas	60
Membranas millipore estériles	1 PAC/150
Embudos de vidrio	7
Cajas Petri de poliestireno moldeado de millipore	60
Guantes estériles	1 caja
Micropipetas	3
Puntas estériles	90
Pinzas	3
Matraz Erlenmeyer	40
Frascos graduados para medio de cultivo	7
Probetas	5
Pipetas graduadas	2
Jeringas 1 ml	4

2.1.3. Equipos de laboratorio

Tabla 4.

Equipos de laboratorio

Detalle	Cantidad
Medidor multiparámetro HI 9829	1
Turbidímetro LaMotte	1
Balanza analítica Radwag	1
Refrigeradora LG	1
Incubadora MEMMERT	1
Filtración al vacío WELCH	1
Autoclave Yamato SE300	1

Cámara de flujo laminar Opti-mair	1
Estufa BINDER	1
Sistema de filtración microbiológico al vacío	1
Horno microondas ETHOS UP	1
Equipo de absorción atómica con horno de grafito y lámparas PG Instruments AA500	1
Campana extractora de humos NOVATECH	1
Fotómetro multiparamétrico HANNA	1
Digestor para vials de DQO HANNA	
pH-metro Accumet AB200	1
Placa calefactora Corning PC-420D	1

2.1.4. Insumos de laboratorio

Tabla 5.

Insumos de laboratorio

Detalle	Cantidad
Guantes de nitrilo	2 cajas
Plástico film	1 rollo
Papel absorbente	3 cajas
Papel aluminio	1 caja
Alcohol antiséptico	4L
Cinta adhesiva	1

2.1.5. Materiales de escritorio

Tabla 6.

Materiales de escritorio

Detalle	Cantidad
Calculadora	1
Computadora	1
Esferos y lápices	4

Cuaderno	1
Rotuladores	2

2.2. Métodos

2.2.1. Programa de monitoreo del río Colorado

A través de la información previa sobre la zona de estudio, se definieron 5 puntos de muestreo a lo largo del río Colorado de acuerdo con su ubicación y accesibilidad. Además, se consideró la norma **NTE INEN 2226 (2013)**, la cual aplica el diseño de los programas de muestreo para la identificación de las fuentes de contaminación en el agua, incluidos los sedimentos.

2.2.2. Tipo de muestro

Las muestras de agua que se recolectaron fue de tipo simple y el muestreo que se llevó a cabo fue por criterio, debido a que se utilizó información previa sobre el lugar de muestreo e inspección visual basada en el juicio y conocimiento profesional del docente tutor (**NTE INEN 2176, 2013**).

2.2.3. Recolección de las muestras

Se recolectó agua superficial en cada punto por triplicado, utilizando la botella Van Dorn, el cual se sumergió a 0,3 m de profundidad por debajo de la superficie del agua. Luego se vertió un litro en botellas ámbar y 100 ml en recipientes antisépticos.

Por otra parte, se recolectó 300 g de sedimentos, los cuales fueron colocados en frascos plásticos de polietileno (**NTE INEN 2176, 2013**). Seguidamente, se realizó la cadena de custodia respectiva (Anexo J) y las muestras fueron etiquetadas (Anexo B) según cada punto de muestro como se indica en la tabla 7.

Tabla 7.*Código de la muestra e identificación de los puntos de muestreo*

Código de muestras	Punto de muestreo	Coordenada geográfica	
		Latitud	Longitud
P1 – A1	Muestra Control. Zona alta del río (Estación)	1°25'13.0''S	78°52'37.1''W
P1 – A2			
P1 – A3			
P2 – A1	Afluente medio del río Colorado	1°24'55.5''S	78°52'05.1''W
P2 – A2			
P2 – A3			
P3 – A1	Zona cercana al cruce del afluente medio del río	1°24'53.1''S	78°51'49.5''W
P3 – A2			
P3 – A3			
P4 – A1	Afluente bajo cercano a las lecherías	1°23'14.0''S	78°51'59.1''W
P4 – A2			
P4 – A3			
P5 – A3	Sector cercano al cruce bajo con el río Colorado.	1°23'09.2''S	78°51'57.7''W
P5 – A1			
P5 – A2			

Nota: P: Punto de muestreo; A: número de muestra.

2.2.3.1 Preservantes, transporte y almacenamiento

En una de las botellas que contenían 1 L de agua, se colocó 0.5 ml de ácido nítrico concentrado al 65% con una micropipeta. Seguidamente las muestras se transportaron en coolers con hielo para evitar su alteración, hasta llegar a las instalaciones del laboratorio de la FCIAB de la Universidad Técnica de Ambato. Donde se conservaron y almacenaron las muestras en un refrigerador en la oscuridad, sin sobrepasar los días de almacenamiento recomendados para el análisis (Machado et al., 2021; NTE INEN 2169, 2013).

2.2.4. Detección de los parámetros fisicoquímicos *in situ*

Temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad, turbidez, determinación de oxígeno disuelto (OD) y sólidos totales disueltos

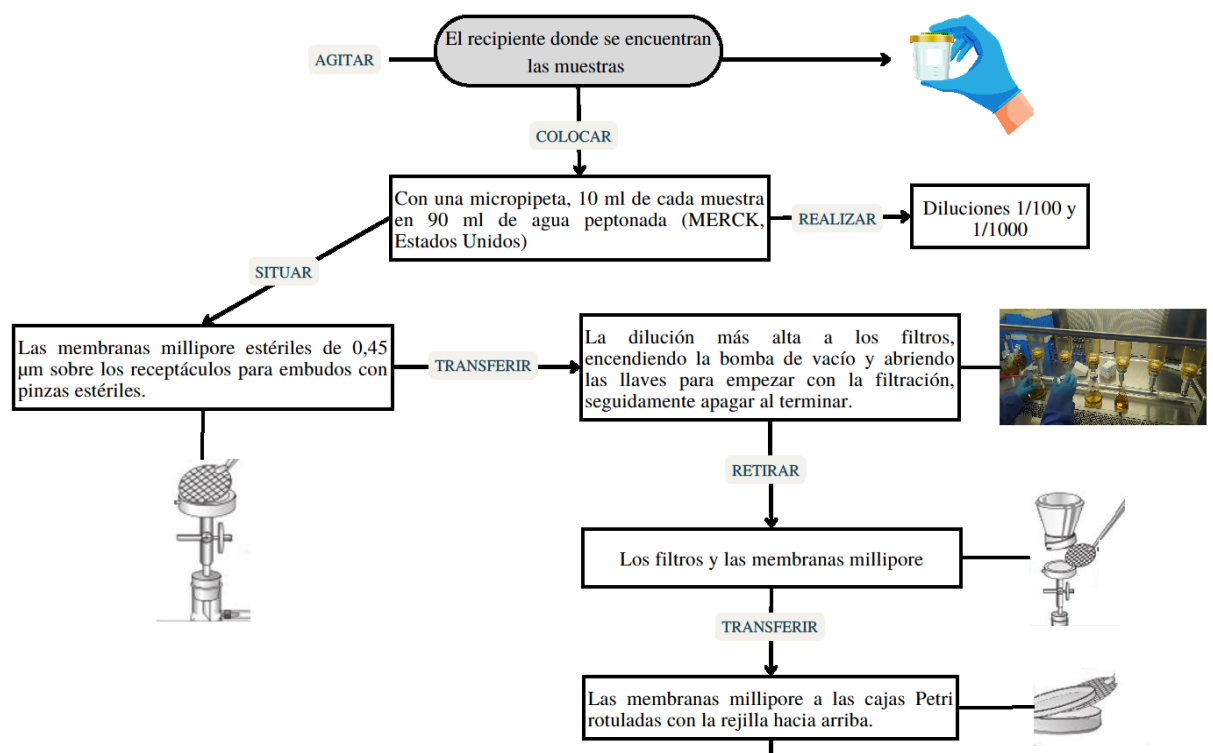
Se llevó a cabo un muestreo automático, calibrando y ajustando previamente los electrodos del medidor multiparámetro HI 9829, así como también del turbidímetro LaMotte. En cada punto se realizó la medición *in situ* de la temperatura, pH, turbidez, conductividad, OD y sólidos totales disueltos, introduciendo directamente la sonda del medidor en el cuerpo de agua a 25 cm por debajo de la superficie (Álvarez, 2014). A continuación, los valores obtenidos de cada parámetro se registraron en las unidades correspondientes y se continuó realizando las mediciones lavando el sensor con agua destilada y secando con papel secante (Quiroz et al., 2017).

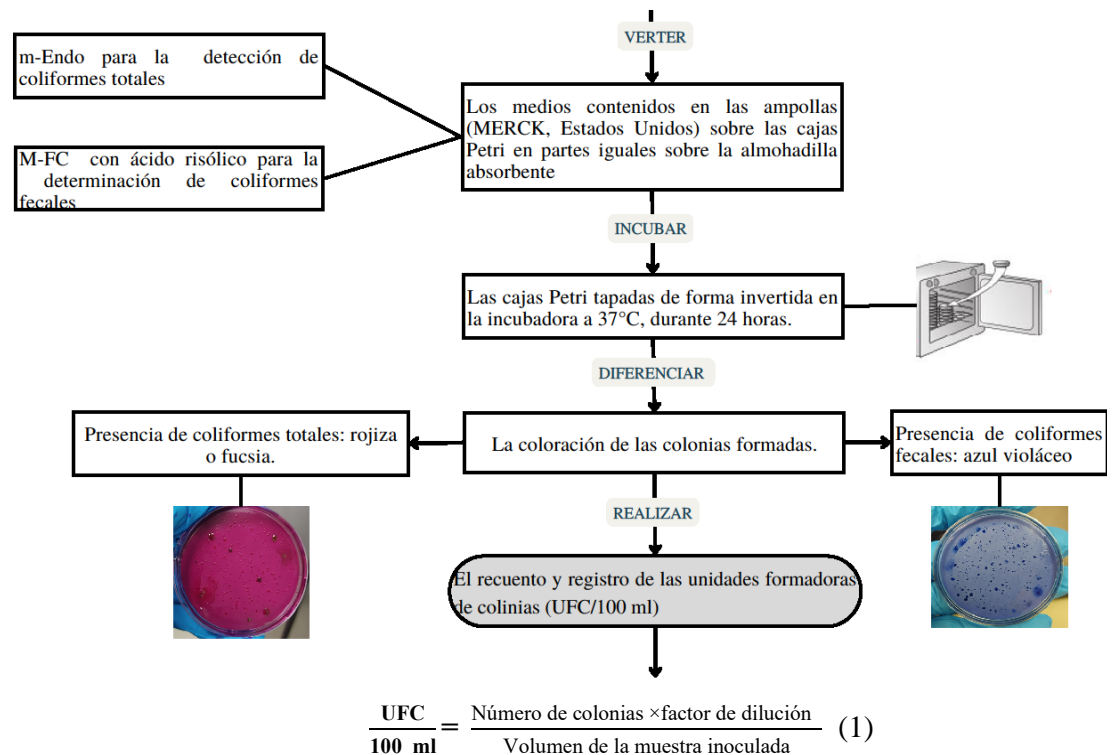
2.2.5 Detección de los parámetros fisicoquímicos en laboratorio

2.2.5.1 Análisis microbiológico de muestras de agua

Figura 2.

Diagrama de flujo del método por filtrado de membrana (MF)





Nota: Previo a la realización del método, se llevó a un autoclave Yamato SE300 el agua peptonada preparada en botellas de vidrio y a los matraces para su esterilización. Además, se utilizó la cámara de flujo laminar Opti-mair en condiciones asépticas para llevar a cabo el método MF descrita por (Hach, 2000; Heydric et al., 2013).

2.2.5.2. Determinación de parámetros mediante el fotómetro multiparamétrico

Se realizó un análisis fotométrico HANNA, seleccionando en el equipo el método para la determinación de nitratos (NO_3^-); amoníaco (NH_3); fosfatos (PO_4^{3-}); cloruros (Cl^-); sulfatos (SO_4^{2-}); potasio (K^+), calcio (Ca^{+2}); Cr^{6+} , Cu, Zn y Fe^{+3} , para lo cual se llevó a cabo el procedimiento respectivo de acuerdo con el manual del equipo, donde se colocaron los reactivos HANNA correspondientes, se esperó el tiempo indicado en el temporizador y se realizó la lectura de los resultados en mg/L (Hanna, 2022)

La medición de la DQO fue realizada de acuerdo con el método fotométrico HANNA, para la cual se utilizaron las muestras de agua no aciduladas de cada punto de muestreo. A continuación, se usaron viales para reactivo COD, rango bajo, luego se agregaron 2 ml de agua destilada al primer vial y para el resto se añadió 2 ml de las muestras de

agua. Seguidamente se introdujo al reactor HANNA a 150°C por 2 horas. Luego del proceso de digestión se esperó 20 minutos para invertirlos cuidadosamente mientras se encontraban calientes y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Luego, se procedió a colocar y medir en el equipo fotométrico en mg/L (**Hanna, 2022**).

2.2.5.3. Determinación de metales por absorción atómica en horno de grafito (GFAAS)

Se preparó al equipo GFAAS PG Instruments AA500, para la realización de los análisis, cambiando la lámpara utilizada como fuente de luz para cada metal, también se proporcionó argón como gas protector del sistema ya que evita la oxidación provocada a altas temperaturas.

Por otra parte, se emplearon las muestras de agua superficial aciduladas, las cuales fueron filtradas mediante filtros con membranas de 0,45 µm, luego se transfirieron a los pocillos del equipo junto con el agua destilada como blanco y la solución estándar para cada caso; luego se ejecutó el proceso de medición de las absorbancias vs concentración en mg/L para cada metal cuyos datos fueron almacenados en el software del equipo (**Eaton et al., 2017**).

Es preciso mencionar que se consideró las rectas de calibración preestablecidas para cada metal por separado y las especificaciones descritas en el *Analytical Cookbook* AA500, así como también los rangos de las rectas de calibración, la longitud de onda específica y el límite de detección para la determinación de cada metal como se indican en la tabla 8.

Tabla 8.

Parámetros por considerar para la determinación de metales por GFAAS

Metal	Rango de recta de calibración (ppb)	Longitud de onda (nm)	Límite de detección (ppb)
Cadmio	0 - 50	228.80	0.01
Cromo	0 - 100	357.9	0.025
Plomo	0 - 150	217.0	0.03
Níquel	0 - 300	232.0	0.065
Arsénico	0 - 150	193.7	0,33

2.2.5.4. Determinación de pH y conductividad en sedimentos

Para la medición de pH y conductividad se llevó a cabo un protocolo modificado de **Sanfeliu et al., (2005)**, para lo cual, se agregaron 200 g de sedimentos de cada muestra en vasos de precipitación con 500 ml de agua destilada y se colocó un agitador magnético, luego se situó en la Placa calefactora Corning PC-420D con agitación magnética por 30 minutos. A continuación, cuando las partículas de las muestras aún estaban suspendidas en la solución se midió el pH y conductividad, mediante un pH-metro Accumet AB200 previamente calibrado (**Romero et al., 2019**).

2.2.5.5. Tratamiento de las muestras de sedimentos y procedimiento de análisis

Se llevaron los crisoles vacíos previamente rotulados a la estufa Binder a 105°C por 2 horas, luego se dejaron enfriar en un desecador, se pesaron y colocaron aproximadamente 5g de muestra de los sedimentos obtenidos por cada punto en el crisol respectivo. Seguidamente se llevaron a la estufa por 24 horas a 105°C. Se utilizó un desecador para dejar enfriar las muestras. Por otra parte, se lavaron con 3 ml de ácido HNO₃ al 65% todos los tubos de digestión previamente rotulados y se colocó 0.5 g de cada muestra, luego se añadieron 5 ml del HNO₃ y 1 ml de peróxido de hidrógeno al 30% (**Eaton et al., 2017**).

Los tubos fueron llevados al Horno microondas (ETHOS UP) para digestión de muestras de acuerdo con el método EPA 3015, por 50 min. Al cabo de este tiempo fue retirado del equipo, se destapó cada tubo en una en una campana extractora de humos (NOVATECH) y se volvió a tapar, se dejó enfriar al ambiente por 1 h (**González, 2014**). Luego se vertió el producto de la digestión en balones de 100 ml, previamente rotulados y se aforó con agua destilada, después se realizó un mezclado por inversión. Seguidamente el producto fue colocado en botellas ámbar con su respectiva codificación para su posterior análisis (**Cori et al., 2021**).

Para llevar a cabo el proceso de medición de los metales correspondiente al método fotométrico, se realizó una filtración al vacío WELCH y para la medición en el equipo GFAAS, se filtraron las muestras utilizando filtros con membranas en los pocillos del equipo. Cabe señalar que se transformó la concentración obtenida a la fase de sedimento, la cual se expresa en unidades de $\text{mg/kg}_{\text{sedimento seco}}$.

2.2.6. Comparación de los valores obtenidos con los reportados en el Libro VI del TULSMA

Una vez obtenidos los valores de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados, se realizaron las respectivas comparaciones con los criterios de calidad de las fuentes de agua y calidad del suelo, considerando los límites permisibles establecidos en las tablas TULSMA (Anexo 1 y 2) en Ecuador según el **MAE (2015)**.

2.2.7. Determinación del índice de calidad del agua (ICA)

Se consideró el proceso de elaboración de un ICA descrito por **Sierra (2011)**. A continuación, el primer paso se basó en la selección de los parámetros por incluir en el ICA - NSF, a través del cual se determinaron los subíndices (Sub_i) mediante las curvas de función detalladas en el anexo I. Seguidamente, se asignó un peso relativo establecido (W_i) para cada parámetro (tabla 16), en la cual se estable la importancia y

también el uso a evaluarse, considerando que la sumatoria de todos los pesos debe ser igual a 1. Luego, de acuerdo con la fórmula (3), se realizó la suma del producto de la multiplicación de los valores obtenidos S_{ij} y W_i para determinar el valor del ICA en cada zona de muestreo (Uddin et al., 2021).

$$WQI = \sum_i^n S_i \cdot W_i \quad (1)$$

Donde:

S_i : Subíndice de calidad para el parámetro i

W_i : Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = número total de parámetros

Por otra parte, también se empleó el ICA de Dinius, en el cual se contemplan 12 parámetros como OD, DBO, CT, CF, nitratos, dureza, cloruros, alcalinidad, pH, conductividad, temperatura y color (Flores, 2022; Dinius, 1987). De los cuales se consideraron 9 parámetros y se excluyeron 3 siendo estos: Cloruros, debido a que los resultados no fueron representativos; de igual forma la alcalinidad y color ya que no fueron medidos en este estudio.

Por lo tanto, se ajustaron los coeficientes de ponderación W_i , realizando el recálculo respectivo. A continuación, se procedió a determinar el valor del subíndice (S_i) para cada parámetro de acuerdo con las ecuaciones de la media geométrica ponderada detalladas en la tabla 17, cuyos resultados fueron elevados a las potencias W_i correspondientes (tabla 19), las cuales se basan en estudios realizados de acuerdo con la importancia de cada parámetro. Finalmente, el ICA se calculó, utilizando una función multiplicativa como se muestra a continuación:

$$WQI = \prod_{i=1}^n S_i^{W_i} \quad (2)$$

Donde:

S_i : Subíndice de calidad para el parámetro i

W_i : Coeficiente de ponderación del parámetro i

N = número total de parámetros.

Seguidamente el valor del ICA se interpretó según la escala de clasificación en un rango de 0 (inaceptable) a 100 (excelente). Para el presente estudio se consideró el criterio para consumo humano según el índice NSF (tabla 20) y el de agrícola para el índice de Dinius (tabla 21).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Programa de monitoreo del río Colorado y obtención de parámetros fisicoquímicos *in situ*

Se delimitaron cinco puntos de muestreo a lo largo de la zona alta, media y baja de la microcuenca del río Colorado a través de un programa de monitoreo, necesario para la medición de la calidad del agua (Kirschke et al., 2020). El muestreo fue realizado a partir de las 10 am hasta las 14:00 pm en un período de sequía como se indican en la tabla 9.

Tabla 9.

Parámetros geográficos y condiciones meteorológicas tomados in situ en los puntos de muestreo del agua superficial

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Puntos de muestreo				
		P1 – AF	P2 – AF	P3 - AF	P4 - AF	P5 - AF
pH		8,15 ± 0,02	8,19 ± 0,02	6,96 ± 0,02	8,81 ± 0,02	7,43 ± 0,02
Temperatura	°C	8,70 ± 0,15	9,63 ± 0,15	8,62 ± 0,15	13,09 ± 0,15	13,53 ± 0,15
ORP	mV	20,70 ± 0,50	61,50 ± 0,50	79,00 ± 0,50	57,50 ± 0,50	-38,80 ± 0,50
OD	%	102,80 ± 1,50	98,00 ± 1,50	94,20 ± 1,50	103,60 ± 1,50	105,00 ± 1,50
OD	ppm	7,36 ± 1,50	6,83 ± 1,50	6,75 ± 1,50	6,70 ± 1,50	6,87 ± 1,50
SDT	ppm	98,00 ± 1,00	64,00 ± 1,00	114,00 ± 1,00	98,00 ± 1,00	242,00 ± 1,00
Turbidez	NTU	1,19 ± 0,03	0,71 ± 0,03	0,28 ± 0,03	0,26 ± 0,03	0,50 ± 0,03
Conductividad	μS/cm	196,00 ± 1,00	129,00 ± 1,00	228,00 ± 1,00	196,00 ± 1,00	484,00 ± 1,00
Altura	m	4048,00	3995,00	3994,00	3881,00	3876,00
Presión	mmHg	471,60	468,90	470,00	483,00	482,30

Nota: Los resultados son los obtenidos *in situ* ± desviación estándar del equipo.

Durante la fase de muestreo se registraron los lugares que posiblemente presentaban un foco de contaminación en las zonas de estudio. En el punto 1, próximo a una estación meteorológica se observaron vicuñas, mientras que en el punto 2 se distinguió la presencia de vacas cercanas al río. Por otra parte, en el punto 3, cercano al cruce del afluente medio del río, no se observaron fuentes de contaminación; además, de acuerdo con el testimonio de los pobladores, este sitio es utilizado para el consumo humano sin previo tratamiento. En el punto 4 se observó el lavado de recipientes usados en lecherías y la descarga del lavado de ropa proveniente de la población aledaña y con respecto al punto 5, cercano al cruce bajo de la microcuenca, se evidenció la presencia de llamas y descargas de aguas domésticas en el río.

3.1.2. Turbidez, pH y temperatura

Es preciso señalar que el recorrido fue realizado en época seca (días soleados), en el transcurso del día hasta las 2:30 pm aproximadamente, de forma que las condiciones ambientales fueron favorables, por lo que los valores de los parámetros fisicoquímicos no se vieron sumamente afectados; sin embargo, es preciso señalar que los mismos, dependen de las condiciones ambientales y antrópicas en algunas zonas del río (**Iordache et al., 2020**).

Por tal motivo en la tabla 9, se indica un cambio en el pH, turbidez y temperatura, pese a ello, el pH se encontró dentro del límite máximo permisible de 6,5 a 9 y la temperatura por debajo de los 20°C, esto de acuerdo con lo establecido por el **MAE (2015)** en la tabla 1, 2 y 3 del TULSMA aplicable a los criterios de fuentes de agua para consumo humano, doméstico y para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces. Además, los valores se relacionan con los resultados obtenidos del muestreo *in situ* realizado por **Calles (2015)**, los cuales indican estar dentro del límite permisible al igual que los valores obtenidos en la tabla 9; sin embargo, se evidencian cambios, esto debido a las condiciones ambientales y al avance de la actividad agrícola y doméstica en las áreas muestreadas desde el año 2015 hasta la actualidad.

Coello et al., (2013), señala que existe una relación entre la temperatura y la altura sobre el nivel del mar entre los sitios de muestreo dado que, a mayor altura, la temperatura del agua es menor. Así mismo, se debe considerar que una corriente lenta del río como lo presenciado en la microcuenca en época seca, indica que el agua está más sujeta a un mayor intercambio de calor con la atmósfera que las corrientes más rápidas, lo cual también explica la variabilidad entre los datos obtenidos sobre este parámetro (**Ouarda et al., 2022**).

3.1.3. Determinación del OD

Los valores del porcentaje de saturación de OD presentados de la tabla 9, indican estar dentro del límite máximo permisible de la Norma TULSMA la cual establece un porcentaje > 80% aplicado a los criterios de calidad admisible para la presentación de la vida acuática en aguas dulces y un valor de calidad de 3mg/L, aplicado a los criterios de calidad de aguas para riego agrícola (**MAE, 2015**). Según lo señalado por **Carvajal (2017)**, el OD aumenta debido a la influencia de las turbulencias que existen en el río, lo cual está asociado a las condiciones físicas del sitio de muestreo puesto que en la mayor parte del recorrido de la microcuenca del río Colorado se presentaron caídas de agua producto del deshielo del volcán Chimborazo, en consecuencia, su oxigenación se ve favorecida, debido a esta condición (**Muñoz et al., 2015**).

Además, **López et al., (2012)** menciona que el cambio de presión debido a la altitud afecta los niveles de OD, puesto que a mayor altura la presión baja y por ende existe pérdida de oxígeno. Así mismo, la concentración depende de la temperatura, ya que, el agua fría contiene más oxígeno disuelto que el agua más caliente, debido a que las moléculas se unen más, reteniendo una mayor cantidad de oxígeno; como se evidencia en el estudio reportado por **Guachamin (2021)**.

3.1.4. Conductividad y SDT

La conductividad se correlaciona con la salinidad y los SDT, debido a que su actividad iónica procedente de la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas marca flujos energéticos dentro de un cuerpo de agua debido a la presencia de material en

suspensión (**Cantera et al., 2009**). Por lo tanto, al poseer las aguas una cantidad baja de SDT, como el valor del P2, la conductividad también disminuye; sin embargo, se va incrementando corriente abajo desde el punto 3 debido al aumento de este parámetro.

3.1.5. ORP

En Ecuador no existe una normativa que contemple el parámetro ORP con valores de referencia para el uso del agua; sin embargo, se puede decir que las muestras de los 4 puntos de muestreo contenían especies oxidantes, debido a que presentaron valores positivos, a diferencia del P5 que fue negativo ya que el potencial de reducción fue mayor que el oxidante (**Prieto, 2022**). Además, los valores obtenidos de ORP pueden brindar un indicio de la relación del oxígeno con los microorganismos ya que especifica el ambiente donde son capaces de generar energía y sintetizar células; según lo reportado por **Reichart et al., (2007)**, quien además menciona que los microorganismos aerobios necesitan valores ORP positivos; en cambio los anaerobios requieren de valores negativos para crecer.

3.1.6. Detección de CT y CF

En el río Ambato se ha investigado en gran medida el grado de contaminación antrópica en las zonas medias y bajas, pero no en las zonas altas como la del río Colorado y Blanco donde nacen las vertientes que alimentan al río, posiblemente porque se cree que existe ausencia de contaminación; sin embargo, los resultados obtenidos, indican una contaminación microbiológica, debido a que en los últimos años la cobertura vegetal del páramo ha cambiado por áreas agropecuarias y ganaderas (**Patiño et al., 2021**).

Para la evaluación de este parámetro se consideró a las bacterias del grupo coliformes como indicador de contaminación fecal en el control de la calidad del agua ya que determina el uso que se le dará ya sea industrial, agrícola, doméstico, etc. Los

coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales debido a su origen fecal, como consecuencia causan importantes afecciones en el ser humano, motivo por el cual han sido evaluadas en el presente estudio mediante la técnica de filtración por membrana, cuyos resultados se muestran la tabla 10 (Some et al., 2021).

Tabla 10.

Resultados en UFC/100mL de CT y CF, en muestras de aguas superficiales

Puntos de muestreo	UFC/ 100 mL Coliformes totales	UFC/ 100 mL Coliformes fecales
1	(-)	(-)
2	$4,00 \times 10^3 \pm 5,57 \times 10^2$	$3,73 \times 10^3 \pm 2,52 \times 10^2$
3	(-)	(-)
4	$3,18 \times 10^4 \pm 8,00 \times 10^2$	$3,40 \times 10^4 \pm 5,51 \times 10^2$
5	$8,97 \times 10^3 \pm 6,56 \times 10^2$	$1,63 \times 10^4 \pm 8,02 \times 10^2$

Nota: Se consideraron las placas que contenían entre 30 a 300 colonias, ya que es estadísticamente representativo. Se transformaron en unidades formadoras de colonias (UFC/ 100 ml), reportándose como la media \pm desviación estándar. Aquellos valores fuera del rango representativo fueron reportados como (-).

En la detección de CT se observaron colonias de color rojizo debido a la producción de aldehídos por los microorganismos a partir de la fermentación de la lactosa, dicho suceso fue generado por la reacción del grupo aldehído con el sulfito de sodio y la fucsina básica contenidos en el medio m-Endo, el cual aportó varios nutrientes para estimular la proliferación bacteriana (Neogen, 2020). Por otra parte, estudios como el de Wan & Fiessel, (2008) señala que para el resultado positivo de CT se requiere de pruebas complementarias para confirmar la presencia de *E. coli* ya que es un indicador confiable de contaminación fecal en lugar de CT; sin embargo, este proceso lleva mucho tiempo y requiere de métodos complejos para determinarlo; por lo tanto, se opta por la detección de coliformes como un indicativo del deterioro microbiológico de la calidad del agua (Rompré et al., 2002).

Los resultados positivos para el caso de CF fueron cuantificados como aquellas bacterias que presentaron un color azul, puesto que su actividad fermentadora, permitió acidificar el medio nutricional m-FC ácido risólico e inhibir a bacterias Gram positivas; cabe señalar que en pruebas confirmatorias obtenidas por este medio y el método de MF se han encontrado a *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citobacter* entre otros géneros que causan varias enfermedades e infecciones al ser humano (**Buckalew et al., 2006**). El estudio realizado por **Hong et al., (2010)**, demostró que los CT están más asociados a los parámetros fisicoquímicos del agua y los CF a la fuente externa mediante escorrentía estacional, así pues, como la mayoría de los patógenos están contenidos en las materias fecales se usan los CF como un indicador fecal.

Los resultados obtenidos en UFC/100 ml de la cuantificación microbiológica (tabla 10) de CF y CT en los puntos de muestreo P2, P4 y P5; indican que no cumplen con los criterios de calidad para consumo humano, doméstico y riego agrícola de acuerdo la tabla 1 y 2, anexo 1 del TULSMA. Esto se podría atribuir a la presencia y deposición de heces de animales como vicuñas, llamas y vacas, cercanos al río cuyas aguas son utilizadas para su consumo y también a la época seca de muestreo donde la temperatura es más alta y por ende ocurre una proliferación masiva de coliformes (**Reitter et al., 2021**).

Además, también se debe al avance poblacional donde algunos sitios no cuentan con agua potable y la recolección de aguas residuales domésticas para ser tratadas; razón por la cual la población recurre a la inadecuada deposición de aguas servidas al río. Por otra parte, las aguas de las zonas P1 y P3, al estar fuera del rango representativo (< 30 colonias) para el cálculo UFC, se puede decir que se encontraron dentro del límite permisible, posiblemente porque estas son áreas protegidas, especialmente el P3 ya que en esta zona el agua es utilizada para el consumo humano de los pobladores. Es preciso mencionar que el monitoreo del parámetro microbiológico en los cuerpos de agua es importante ya que posiblemente este grupo bacteriano pueda comenzar a desarrollar mecanismos de resistencia para soportar condiciones tóxicas (**Zhang et al., 2021**).

3.1.5. Detección de parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de las muestras de aguas superficiales

Tabla 11.

Resultados del análisis en el laboratorio realizado de los parámetros fisicoquímicos en las aguas superficiales

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo					Tablas TULSMA, Anexo 1 del del Libro VI		
		P1 – AF	P2 – AF	P3 - AF	P4 – AF	P5 – AF	Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
DQO	mg/L	4,667 ± 0,577	4,667 ± 0,577	4,000 ± 1,000	4,333 ± 0,577	4,333 ± 0,577	<4	40	
DBO	mg/L	2,333 ± 0,289	2,333 ± 0,289	2,000 ± 0,500	2,167 ± 0,289	2,167 ± 0,289	<2	20	
Cl ⁻	mg/L	-	-	-	-	-			
NO ₃ ⁻	mg/L	1,833 ± 0,304	0,167 ± 0,125	0,161 ± 0,093	0,194 ± 0,110	0,256 ± 0,201	50	13	
NH ₃	mg/L	0,080 ± 0,053	0,264 ± 0,197	0,023 ± 0,017	0,091 ± 0,031	0,074 ± 0,043			
PO ₃ ³⁻	mg/L	2,422 ± 0,109	1,956 ± 0,207	2,456 ± 0,101	1,389 ± 0,169	2,578 ± 0,097			
SO ₄ ²⁻	mg/L	8,667 ± 0,500	2,222 ± 0,833	11,444 ± 0,882	15,111 ± 1,054	35,111 ± 0,601	250		250
Cr ⁶⁺	mg/L	0,019 ± 0,003	0,022 ± 0,003	0,020 ± 0,003	0,017 ± 0,002	0,017 ± 0,004	0,05		0,1
Cu	mg/L	0,047 ± 0,010	0,012 ± 0,007	0,004 ± 0,005	0,004 ± 0,005	0,023 ± 0,018	2,00	0,005	2,00
Zn	mg/L	0,003 ± 0,005	0,076 ± 0,009	0,067 ± 0,007	0,059 ± 0,020	0,019 ± 0,023	5,00	0,03	0,2
Cd	mg/L	0,0002 ± 0,025	0,0001 ± 0,001	0,0002 ± 0,011	0,0002 ± 0,005	0,0002 ± 0,003	0,003	0,001	0,05
Cr	mg/L	0,0004 ± 0,014	0,0015 ± 0,107	0,0004 ± 0,033	0,0004 ± 0,021	0,0221 ± 0,321		0,032	
Pb	mg/L	0,0028 ± 0,088	0,0039 ± 0,132	0,0022 ± 0,029	0,0012 ± 0,027	0,0033 ± 0,146	0,01	0,001	5,0
Ni	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,0021 ± 0,050		0,025	0,2
As	mg/L	0,0051 ± 0,474	0,0049 ± 0,781	0,0051 ± 0,283	0,0051 ± 0,474	0,0051 ± 0,503	0,1	0,05	0,1
Fe	mg/L	0,367 ± 0,006	0,170 ± 0,035	0,327 ± 0,006	0,170 ± 0,020	0,363 ± 0,025	1,0	0,3	5,0
Mg	mg/L	3,667 ± 0,577	1,333 ± 0,577	1,667 ± 0,577	0,667 ± 1,155	1,333 ± 0,577			
Mn ²⁺	mg/L	*0,433 ± 0,058	*0,433 ± 0,058	*0,467 ± 0,058	*0,367 ± 0,058	*0,467 ± 0,058		0,1	0,2
K	mg/L	2,633 ± 0,153	2,900 ± 0,100	2,300 ± 0,173	2,667 ± 0,115	4,967 ± 0,115			
Ca	mg/L	19, 535 ± 0,723	7,096 ± 0,670	20,620 ± 1,086	21,265 ± 0,637	33,237 ± 2,163			

Nota: Los resultados son las medias ± desviación estándar. Los valores obtenidos por debajo del límite de precisión (< 0,5 mg/L) de cloruro (Cl⁻) por el método fotométrico se reportaron como (-) y aquellos valores que no fueron detectados por el GFAAS como (ND). Los resultados que sobrepasaron los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre (tabla 2) del Libro VI del TULSMA (MAE, 2015), se indican con negrita y los excedidos para agrícola (tabla 3) con (*).

Las aguas superficiales del río Colorado al proceder del deshielo del volcán Chimborazo; no hubo presencia de cloruros en las muestras, motivo por el cual, el agua tiende a retener una gran cantidad de microorganismos, lo que conlleva al aumento de patógenos y por ende un riesgo para la salud del consumidor (**Carrasco & Morales, 2019**).

Por otra parte, la cantidad de nitratos, amoníaco, fosfatos y sulfatos fue mínima en los puntos de muestreo, lo cual pudo deberse a la ausencia de contaminación por compuestos químicos y orgánicos ya que en todos los sitios de muestreo no se observó una actividad agrícola intensiva, de modo que se descarta un problema de eutrofización (**Strokal et al., 2020**). Así mismo, se asume que la cantidad de sólidos suspendidos totales fue baja comparado con los criterios de calidad admisible, por ello no causa alteraciones en la turbidez, temperatura y los niveles OD en las aguas (**Campos, 2000**).

Por otra parte, las mediciones obtenidas de la DQO se encontraron cerca del límite de precisión del método fotométrico HANNA (± 5 mg/L); por lo tanto, se consideró dividir a la mitad las mediciones obtenidas para determinar valores de la DBO, dado que este último parámetro constituye una fracción de la DQO ya que sólo detecta el material orgánico biodegradable. Además, los valores de la DQO son siempre superiores en relación al DBO, debido a que varias sustancias pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente (**Rivera, 2014**). En relación con estas mediciones todas se encontraron dentro del criterio de calidad del TULSMA.

Además, de las 13 mediciones realizadas sobre la concentración de metales pesados, se determinó que en la mayoría de los resultados señalados en la tabla 11 a excepción del Zn, Pb, Fe y Mn, se encontraron dentro de los límites máximos permisibles establecido en las tabla 1, 2 y 3 de la norma de calidad ambiental **MAE (2015)**, siendo apta para el riego agrícola pero no para el consumo humano y la preservación de la vida acuática; debido a la presencia de alta concentración de coliformes a excepción del punto 1 y 3; sin embargo, es posible que el aumento de la actividad agrícola,

ganadera y doméstica sin control, provoquen que estos compuestos se acumulen a lo largo del tiempo, alterando la calidad del agua (**Chen et al., 2022**).

Las concentraciones de Zn se encontraron fuera del criterio de calidad 0,03 mg/L para la preservación de la vida acuática en aguas dulces de la tabla 2 TULSMA a excepción del punto 1 y 5; también el Pb estuvo sobre el límite permisible 0.001 mg/L; no obstante, se encontró dentro del criterio de calidad 5.0 mg/L para riego agrícola de la tabla 3 y para consumo humano 0,01 mg/L de la tabla 1 TULSMA. En el caso del Pb se presume que los valores se atribuyen a 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 ya que como bien se conoce la microcuenca del río en estudio se encuentra a la altura de la vía Ambato – Guaranda donde siempre existe tránsito vehicular; sin embargo es necesario realizar más análisis para evaluar su origen y el riesgo para la salud de la población, ya que el plomo es un metal altamente tóxico y se ha relacionado con varios tipos de cáncer (**Yu et al., 2022**).

De la misma forma el Zn puede volverse tóxico en el medio hídrico si está presente en concentraciones elevadas, en este caso la concentración excedida fue mínima en los 3 primeros puntos, posiblemente por la escorrentía de las carreteras, algunas zonas agrícolas y el aporte geogénico de la meteorización de minerales que contienen Zn (**Tu et al., 2020**). Por lo tanto, Los valores fuera de los admisibles también podrían atribuirse a las características geológicas y minerales del suelo las cuales son solubles bajo determinadas condiciones fisicoquímica liberando de esta forma su carga metálica al recurso hídrico (**Febles et al., 2020**).

Las concentraciones de Fe, obtenidas en los puntos 1, 3 y 5 superaron el criterio de calidad para la preservación de la vida acuática de la tabla 2 del TULSMA. Según lo mencionado por **Heikkinen et al., (2022)**, el pH determina la especiación y solubilidad del Fe, el cual puede estar presente en un estado de oxidación estable como Fe (III) en aguas dulces aeróbicas, pero podría precipitar para formar hidróxidos de Fe, sient

también influenciado por la actividad microbiana ya que usa este elemento como sustrato para su proliferación. De acuerdo con la literatura, la diversidad de especies acuáticas disminuiría debido a las acciones tóxicas de los compuestos de Fe. En cuanto al Mn, los valores obtenidos superaron los criterios de calidad, tabla 2 y 3 del TULSMA. Las condiciones de pH y reacciones redox influyen en las concentraciones, estabilidad y solubilidad de este elemento presentándose así en diferentes estados de oxidación (II), (III) y (IV). El exceso puede conducir a problemas de salud, afectar al color y sabor del agua (**Jones & Tebo, 2021**).

En los recursos hídricos naturales se llevan a cabo una serie de reacciones con ligandos en el agua y con sitios superficiales de materiales con los que el agua está en contacto (**Allison & Allison, 2005**). Para lo cual de acuerdo con la literatura se ha incluido un modelo denominado coeficiente de partición (Kd), relacionado a la concentración del metal absorbido (mg/kg) y la del metal disuelto (mg/L) en el agua superficial; sin embargo, para su determinación se desarrollan ecuaciones utilizando softwares especializados, en el que se consideran varios parámetros geoquímicos de mayor influencia en el Kd, como el origen y concentración de contaminantes relacionados al agua y sedimentos, salinidad, contenido de materia orgánica, pH, etc. En este sentido se podría considerar en futuros estudios dichas tecnologías para evaluar el riesgo humano y ecológico con respecto a los niveles de exposición de sustancias químicas liberadas en aguas superficiales (**Sedeño et al., 2019**).

Por otro lado, considerando lo mencionado por **Brito et al., (2022)** en su estudio sobre la “Evaluación de metales pesados del río Cuchipamba, ubicado en Morona Santiago”, es importante realizar un monitoreo temporal y espacial de la concentración y toxicidad de este grupo de contaminantes en los ríos y suelos puesto que su afección va en aumento, llegando hasta la cadena alimenticia del ser humano, por lo cual es necesario un análisis. Esto debido a que los metales pesados suelen diluirse en el agua a causa de la temporada lluviosa, por ende, su concentración disminuye y aumenta en época de estiaje donde el caudal de los ríos es más bajo (**Rodríguez & Benavidez, 2015**).

3.1.6. Detección de parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de las muestras de sedimentos

Tabla 12.

Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de sedimentos

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo					Criterio de calidad del suelo (TULSMA)
		P1 - AF	P2 - AF	P3 - AF	P4 - AF	P5 - AF	
pH		7,39	7,47	6,69	7,15	7,5	6 a 8
Cr ⁶⁺		*5,311 ± 0,233	*4,533 ± 0,253	*9,689 ± 0,339	*5,333 ± 0,490	*6,733 ± 0,053	0,4
Cu		*184,44 ± 2,611	*170,222 ± 1,218	*180,00 ± 1,334	*172,89 ± 0,609	*167,556 ± 1,048	25
Cd		*1,098 ± 0,025	*3,385 ± 0,127	*0,776 ± 0,012	*1,400 ± 0,032	*0,698 ± 0,016	0,5
Ni	mg/kg	11,424 ± 2,215	12,127 ± 0,813	12,127 ± 1,177	16,185 ± 1,618	4,126 ± 1,926	19
Cr		4,732 ± 1,053	2,893 ± 1,345	1,678 ± 0,005	5,617 ± 0,407	1,575 ± 0,001	54
Pb		15,984 ± 4,520	15,492 ± 6,570	3,184 ± 0,993	6,316 ± 4,344	1,768 ± 0,545	19

Nota: Los resultados son las medias ± desviación estándar. Los resultados que sobrepasaron los criterios de calidad del suelo establecidos en la tabla 1, anexo 2 del Libro VI del TULSMA (MAE, 2015), se indican con (*).

La tabla 12 muestra que los valores de Ni, Cr y Pb hallados en los sedimentos, se encuentran por debajo de los criterios de calidad del suelo; lo que supone una menor disponibilidad de estos metales para el medio acuático; sin embargo, la cantidad de Cr^{6+} , Cu y Cd sobrepasaron los criterios de calidad, posiblemente debido a la acumulación geológica de origen volcánico en el suelo y a los procesos de erosión y sedimentación en las zonas muestreadas, por tal motivo según **Febles et al., (2020)**, se suelen clasificar como suelos contaminados; sin embargo las concentraciones obtenidas se encontraron de forma natural en la microcuenca con una baja actividad antropogénica, lo cual coincide con estudios relacionados en regiones similares (**Magni et al., 2021**).

Pazos (2008), menciona que la bioacumulación de los metales depende de los procesos biológicos y condiciones geoquímicas que tienen los sedimentos en el sistema ambiental, como el pH, adsorción, materia orgánica, precipitaciones, reacciones redox, temperatura, actividad antrópica y microbiana, los cuales alteran la composición de las muestras. Por lo tanto, es posible encontrarse en los sedimentos varias especies metálicas como, por ejemplo, el Cr ya sea reducido a Cr^{3+} y oxidado a Cr^{6+} siendo este último un irritante epitelial, mutagénico y cancerígeno (**Drinčić et al., 2018**). En el presente estudio la concentración de Cr total fue bajo en comparación con el cromo hexavalente, lo cual pudo deberse a la reacción con especies oxidantes de Mn dentro de matrices sólidas fijas comunes en los sedimentos (**Hausladen & Fendorf, 2017**).

La concentración de los metales en el agua fue baja en comparación con los obtenidos en los sedimentos; posiblemente por la incorporación y retención de estos elementos en los sedimentos ya que según menciona **Sarkar et al., (2021)**, la movilidad de los metales pesados es baja en el suelo, por lo que se acumulan en las capas superficiales del sedimento donde los mecanismos de transporte son por precipitación, adsorción y complejación. Así mismo, la solubilidad de los metales dependen de los valores de pH,

por ejemplo, en condiciones alcalinas ($\text{pH} = 8,0$) estos elementos son poco solubles; sin embargo, la solubilidad va aumentando en condiciones ligeramente ácidas ($\text{pH} = 5,0$) hasta extremadamente ácidas ($\text{pH} = 3,3$); motivo por el cual, se puede decir que la concentración de los metales no fue tan elevada en las aguas superficiales (**Alkhatib et al., 2016**).

Las altas concentraciones de Cu obtenidas en todos los puntos, especialmente en el punto 1 y 3, pueden atribuirse a lo antes mencionado ya que este metal se adhiere fuertemente a la materia orgánica en los primeros centímetros del suelo, la cual posiblemente se encontró en un alto porcentaje debido a la época de estiaje en la que se realizó el muestreo (**Baddar et al., 2021**). Además, los valores de Cd también sobrepasaron el límite permisible para calidad del suelo 0.5 mg/l , probablemente a causa de los procesos de deposición según lo mencionado por **Hossain et al., (2019)**. Dado que este elemento es liberado de los minerales sulfurosos a los sedimentos, donde puede inmovilizarse provocando el enriquecimiento de Cd, lo que podría explicar una alta cantidad en el P2; también se le atribuye a la interacción con los fertilizantes fosfatados de uso agrícola (**Sarkar et al., 2021**).

El tipo de suelo y los parámetros abióticos influyen en la cantidad de retención de los metales como la materia orgánica que desempeña un papel importante en la especiación de los metales ya que actúa como aceptor de protones e interactúa con enlaces iónicos de varios metales (**Alkhatib et al., 2016**). También las condiciones de flujo turbulento, como las generadas durante la época de lluvia en donde existen crecidas del río, podría favorecer la liberación y movilidad de los metales asociados a los sedimentos, por lo cual se debería realizar un estudio durante estos episodios para conocer la variación de su concentración en los sedimentos, ya que el mismo actúa como sumidero de contaminantes, siendo posible que el contenido pase de la fase particulada a la fase soluble como es el agua y de esta forma aumentar el riesgo medioambiental (**Febles et al., 2020**).

3.1.7. Determinación del ICA

Tabla 13.

Valores obtenidos según el ICA – NSF

Puntos de muestreo	ICA	
	Valor	Calidad
1	67	Regular
2	53	Regular
3	69	Regular
4	53	Regular
5	51	Regular

Nota: Los valores obtenidos fueron comparados con los rangos de clasificación del ICA (tabla 20) propuesto por Brown (Méndez et al., 2020; Uddin et al., 2021).

No se elaboró un ICA propio, dado que para el proceso de ponderación de los parámetros se requiere de la realización de encuestas, las cuales son valoradas en base a un juicio profesional, lo cual no se realizó en el presente estudio. Por lo tanto, se empleó el ICA-NSF ya que es ampliamente utilizado en Ecuador para una evaluación de forma general del agua; por lo tanto, para su desarrollo se seleccionaron los 9 parámetros incluidos en el método con su respectivo peso de importancia. La tabla 13, muestra que las aguas de las zonas muestreadas se clasificaron en regulares **Quiroz et al., (2017)**. El descenso del valor del ICA en los puntos de muestreo 2, 4 y 5 se debe principalmente a las altas concentraciones de los coliformes fecales (**Castro et al., 2022**), lo cual coincide con lo ratificado por **Pauta et al., (2019)**, quien menciona que en todos los ríos los CF son el parámetro que más incide en la calidad del agua.

Cabe señalar que los registros del OD, DBO, nitratos, fosfatos, pH, temperatura, turbidez y SDT, mostraron medidas estables dentro de los criterios de calidad admisibles en época seca, por lo que sus valores en función de las curvas de calidad

del método fueron altas. Cabe señalar, que los valores muestran tendencia decreciente conforme avanza el curso del río.

Por otra parte, con respecto al cálculo del ICA de Dinius se consideró 9 de los 12 parámetros como el pH, temperatura, conductividad, CT, CF, OD, DBO, nitratos y dureza, éste último valor fue determinado a partir de la fórmula incluida en el estudio de **Pal et al., (2018)**. A continuación, se llevó a cabo el procedimiento necesario para el cálculo respectivo del cual se obtuvo los valores presentados en la tabla 14.

Tabla 14.

Valores obtenidos según el ICA de Dinius

Puntos de muestreo	ICA		
	Valor	Criterio Agrícola	Criterio para consumo humano
1	69	Contaminado	Contaminado
2	75	Contaminado	Contaminado
3	79	Aceptable	Aceptable
4	67	Contaminado	Contaminado
5	70	Contaminado	Contaminado

Nota: El valor del ICA por cada punto se interpretó de acuerdo con la escala de clasificación propuesta por Dinius (**tabla 21**).

Según **Dinius, (1987)**, de acuerdo con el criterio agrícola y consumo humano, los puntos de muestreo se clasificaron en su mayoría en contaminados a excepción del P3 que fue aceptable, por lo que no se requiere de un tratamiento para el uso agrícola pero sí para el consumo humano. Es preciso mencionar que el número de parámetros y la redistribución del peso relativo entre los parámetros existentes, influyeron directamente en la valoración del ICA de Dinius; lo que podría quitar relevancia de otros parámetros para estimar la calidad. Los dos índices utilizados evaluaron la naturaleza física, química y biológica en cada zona de muestreo, presentando de esta manera variabilidad en relación con sus posibles usos, lo cual coincide con lo mencionado en el estudio de **Meléndez et al., (2013)**.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se caracterizó los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en las muestras de agua superficial mediante diferentes métodos, lo cual permitió obtener información concisa de los compuestos que sobrepasan el criterio de calidad de agua admisible para el consumo humano, preservación de la vida acuática y riego agrícola. En este sentido se analizó las posibles razones que conducen a la disminución de la calidad del agua en las zonas de muestreo, con respecto a las condiciones ambientales, geológicas y actividades antrópicas, debido al avance de la frontera agrícola que alteran la calidad del río Colorado.
- Se determinó la concentración de los metales pesados en los sedimentos mediante el método fotométrico y GFASS. Además, se indagó sobre los posibles escenarios que causaron la deposición de estos elementos como los efectos ambientales, geológicos, contaminación agroquímica, incremento de la carga orgánica y aumento de la sedimentación que ocasionan la bioacumulación y el transporte de metales y partículas sueltas en los sedimentos, las cuales pueden llegar al río por diversos factores, provocando la alteración el recurso hídrico.
- Se comparó los resultados obtenidos de la caracterización del agua con los criterios de calidad reportados por el anexo 1 del Libro VI, TULSMA; los cuales en su mayoría se encontraron dentro del límite permisible para el consumo humano y doméstico a excepción de los coliformes fecales (> 1000 NPM/100 ml); Zn ($> 0,03$ mg/L); Pb ($> 0,01$ y $0,001$ mg/L); Fe ($> 0,3$ mg/L) y Mn^{2+} ($> 0,1$ mg/L) que excedieron los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestres en aguas dulces así como para el criterio de calidad para riego agrícola Mn^{2+} ($>0,2$ mg/L). De la misma forma los resultados del análisis de los sedimentos muestran que los valores de Cr^{6+}

(>0,4 mg/kg); Cd (> 0,5 mg/kg) y Cu (> 25 mg/kg) sobrepasaron los criterios de la calidad del suelo señalado en el anexo 2 del TULSMA, por lo que se han investigado sus posibles fuentes de exposición.

- Se evaluó la calidad del agua de manera general mediante el ICA – NSF el cual permitió revelar el grado de contaminación de las aguas en las cinco zonas de muestreo, las cuales en su mayoría se clasificaron como regulares o moderadamente contaminadas. En cuanto al índice de Dinius las aguas se catalogaron en contaminadas a excepción del punto 3 que fue aceptable (ICA: 79), por lo que, no se considera necesario purificar para el uso agrícola pero sí para el consumo humano; sin embargo, al presentar un exceso de coliformes, Zn y Pb, Fe y Mn ²⁺, se podría limitar el uso del agua en las zonas determinadas de forma temporal hasta que el sistema fluvial del río recupere su estado natural y se acerque a los niveles aceptables para no afectar la calidad del recurso hídrico y la salud de los consumidores.
- Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos en las muestras de agua superficial, así como de la concentración de los metales pesados en los sedimentos y aguas se verificaron con los criterios de calidad ambiental (TULSMA) admisible para el consumo humano, preservación de la vida acuática y riego agrícola. Las causas de las mediciones excedidas especialmente de los metales pesados con respecto a la norma fueron analizadas en torno a las condiciones ambientales y antrópicas de cada punto de muestreo. Así mismo los valores ICA obtenidos permitieron estimar el grado de contaminación del río Colorado.

4.2. Recomendaciones

- Crear un ICA propio mediante la técnica de investigación de Delphi, basado en la opinión de expertos, en el que se aplique un proceso de jerarquía analítica para la determinación de las ponderaciones de los parámetros seleccionados.
- Realizar un monitoreo temporal para comprender la variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la calidad del agua del río Colorado.
- Socializar los índices de calidad del agua obtenidos en los puntos de estudio a la población que usa este recurso hídrico en las actividades doméstica, ganaderas y agrícolas con el fin de evitar su consumo en las zonas que exceden el criterio de calidad del agua respecto al parámetro coliformes.
- Incentivar al cuidado y protección mediante el control del vertimiento de aguas domésticas y pecuarias; como por ejemplo la implementación de cercas en las riberas del río para evitar el contacto con el ganado y sus desperdicios para la protección del recurso hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, O. (2009). Los elementos traza. *Revista Médica de La Extensión Portuguesa*, 4(3), 107–120. <https://www.researchgate.net/publication/268274720>
- Alkhatib, E. A., Chabot, T., & Grunzke, D. (2016). Prediction of Metal Remobilization from Sediments under Various Physical/Chemical Conditions. *Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering*, 2016(2). <https://doi.org/10.4172/2325-9647.1000135>
- Allison, J., & Allison, T. (2005). *Partition coefficients for metals in surface water, soil, and waste*.
- Álvarez, R. (2014). *Instructivo de uso del multiparamétrico WTW Modelo Multi 340i y medición de muestras código: IT-006*.
- Andrade, P., Freire, R., Mejía, A., & Vallejo, M. (2020). Chambo river water quality assessment in time of stretching using the ICA-NSF Water Quality Index. *Perfiles*, 23, 54–60.
- Arcos, M., Ávila, S., Gómez, A., & Estupiñán, S. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69–79. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>
- Azcona, M., & Pérez, P. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 14(3), 199–205.
- Baddar, Z. E., Peck, E., & Xu, X. (2021). Temporal deposition of copper and zinc in the sediments of metal removal constructed wetlands. *PLOS ONE*, 16(8). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0255527>
- Barbooti, M. (2015). *Environmental applications of instrumental chemical analysis*. Apple Academic Press, Incorporated.
- Brito, M., Méndez, P., Alvarado, R., & Cazorla, V. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago. *Polo Del Conocimiento*, 7(7), 1987–2013. <https://doi.org/10.23857/PC.V7I7.4328>
- Buckalew, D., Hartman, L., Grimsley, G., Martin, A., & Register, K. (2006). A long-term study comparing membrane filtration with Colilert® defined substrates in detecting fecal coliforms and *Escherichia coli* in natural waters. *Journal of Environmental Management*, 80(3), 191–197. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2005.08.024>
- Calles, J. (12 de Marzo de 2015). Informe de la calidad del agua de los ríos en los páramos de Tungurahua usando bioindicadores acuáticos. Ambato, Tungurahua, Ecuador: Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda.
- Campos, I. (2000). *Saneamiento Ambiental*. EUNED.

- Cano, M., & Carrera, F. (2020). Calidad bacteriológica del agua y su relación con el potencial de óxido reducción (ORP). *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 15(1), 41–47. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1130>
- Cantera, J., Carvajal, Y., & Castro, L. (2009). *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*. Editorial UNIVALLE.
- Carrasco, Z., & Morales, S. (2019). Importancia de la cloración del agua: sitios de abastecimiento con presencia de bacterias patógenas. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 39(3), 86–92.
- Carvajal, E. (2017). *Análisis integral de la calidad de agua del río Ambato, mediante la utilización de indicadores biológicos, complementadas con variables físico-químicas, para la generación de propuestas de gestión* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16996>
- 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* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/5430858R666.pdf>
- Castro, R., Oliveira, S., Borges, D., da Silva, D., & dos Santos, W. (2022). Soil losses related to land use and rainfall seasonality in a watershed in the Brazilian Cerrado. *Journal of South American Earth Sciences*, 119. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2022.104020>
- Chen, L., Yang, Y., Ding, M., Zhang, H., Zou, F., Wang, P., Nie, M., Huang, G., & Yan, C. (2022). Scale effects of multi-medium heavy metals in response to landscape indices in the Yuan River, China. *Journal of Cleaner Production*, 373, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133784>
- Chiroles, S., Gonzáles, M., Mojhammad, M., & Torres, T. (2009). Medios de cultivo fluorogénicos y cromogénicos y su evaluación en aguas de consumo y costeras. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 422–430.
- Coello, J., Ormaza, R., Déley, Á., Recalde, C., & Rios, A. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 15(30), 66–71. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v16i31.11281>
- Cori, D. M., Chambi, M. I., Gúzman, L., Quintanilla, J., & Ramos, O. E. (2021). Optimización del Método de Digestión Ácida en sistema de microondas para la determinación de concentraciones pseudototales de Fe, Mn y Zn en Sedimentos de la cuenca Katari Bajo, La Paz, Bolivia. *Bolivian Journal of Chemistry*, 38(5), 194–208. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.38.5.2>

- Cruz, A. (2013). Evaluación de tres técnicas microbiológicas utilizadas para detectar coliformes totales y fecales en muestras de agua. *Visión Antataura*, 1(1), 101–110.
- Dinius, S. H. (1987). Design of an Index of Water Quality. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), 833–843. <https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1987.TB02959.X>
- Domènech, X., & Peral, J. (2012). *Química ambiental de sistemas terrestres - Xavier Domènech, José Peral - Google Libros*. Reverté, S.A.
- Drinčić, A., Zuliani, T., Ščančar, J., & Milačič, R. (2018). Determination of hexavalent Cr in river sediments by speciated isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry. *Science of The Total Environment*, 637–638, 1286–1294. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.05.112>
- Eaton, A., Baird, R., & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water* (23rd ed.). Water Environment Federation.
- Febles, J., Martínez, A., Amaral, N., Febles, J., & Zonta, E. (2020). Los ambientes geológicos en la acumulación de metales pesados en suelos de Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*, 41(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200005
- Flores, L. A. (2022). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba basado en un análisis jerárquico para identificar los pesos de los parámetros de un índice propio de calidad del agua* [Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/39607/1/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n%20.pdf>
- Fournier, M., Castillo, L., Ramírez, F., Moraga, G., & Ruepert, C. (2019). Evaluación preliminar del área agrícola y su influencia sobre la calidad del agua en el Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 92–112. <https://doi.org/10.15359/RCA.53-1.5>
- Galvín, M. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas* (2nd ed.). Ediciones Díaz de Santos.
- Garcés, M. (2021). “Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato”. [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34004/1/t1908mquim.pdf>
- Garros, M., & Safar, E. (2020). *Agua segura como derecho humano*. Ediciones Universidad Católica de Salta.
- González, E. (2014). *Método General por microondas de digestión Ácida en matrices ambientales*. https://www.ciiemad.ipn.mx/assets/files/ciiemad/docs/sgc/procedimientos/IPN_AC-06-00.pdf

- Guachamin, S. (2021). *Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato* [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32090/1/BQ%20247.pdf>
- Gualdrón, L. (2016). Vista de Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos | Dinámica ambiental. *Dinámica Ambiental*. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Hach. (2000). *Water Analysis Manual* (3rd ed.).
<https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-de-chimborazo/modelos-y-procesos-de-investigacion-analisis-de-resultados-de-investigacion/water-analysis-manual-spanish-manual-de-analisis-de-agua/12174996>
- Hanna. (2022). *Manual de instrucciones. Hanna instruments*. Manuales y Hojas de Seguridad.
<https://hannainst.ec/descargas/?q=HI%2083399&catid=265&limit=60>
- Hausladen, D., & Fendorf, S. (2017). Hexavalent Chromium Generation within Naturally Structured Soils and Sediments. *Environmental Science & Technology*, 51(4), 2058–2067. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B04039>
- Heikkinen, K., Saari, M., Heino, J., Ronkanen, A. K., Kortelainen, P., Joensuu, S., Vilmi, A., Karjalainen, S. M., Hellsten, S., Visuri, M., & Marttila, H. (2022). Iron in boreal river catchments: Biogeochemical, ecological and management implications. *Science of The Total Environment*, 805, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150256>
- Hernández, F. (2002). *Fundamentos de epidemiología: el arte detectivesco de la investigación epidemiológica* (pp. 405–407). EUNED.
- Herzig, M., Márquez, R., Peters, E., Sánchez, O., & Zambrano, L. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. In *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Heydrich, M., Larrea, J., Rojas, M., Rojas, N., & Romeu, B. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura | Revista CENIC Ciencias Biológicas. *Revista CENIC Ciencias Biológica*, 44(3), 24–34. <https://revista.cnic.cu/index.php/RevBiol/article/view/1014>
- Hong, H., Qiu, J., & Liang, Y. (2010). Environmental factors influencing the distribution of total and fecal coliform bacteria in six water storage reservoirs in the Pearl River Delta Region, China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(5), 663–668. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60160-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60160-1)
- Hossain, M., Latifa, G., Prianqa, & Nayeem, A. (2019). Review of Cadmium Pollution in Bangladesh. *Journal of Health & Pollution*, 9(23). <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.23.190913>

- Iordache, A., Nechita, C., Pluhacek, T., Iordache, M., Zgavarogea, R., & Ionete, R. (2020). Past and present anthropic environmental stress reflect high susceptibility of natural freshwater ecosystems in Romania. *Environmental Pollution*, 267, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115505>
- Jones, M., & Tebo, B. (2021). Novel manganese cycling at very low ionic strengths in the Columbia River Estuary. *Water Research*, 207. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2021.117801>
- Khalaf, A. (2021). Investigation of some physical, chemical, and bacteriological parameters of water quality in some dams in Albaha region, Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4605–4612. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.04.067>
- Kirschke, S., Avellán, T., Bärlund, I., Bogardi, J. J., Carvalho, L., Chapman, D., Dickens, C. W. S., Irvine, K., Lee, S. B., Mehner, T., & Warner, S. (2020). Capacity challenges in water quality monitoring: understanding the role of human development. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(5), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S10661-020-8224-3/TABLES/5>
- Kozisek, F. (2020). Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 112, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2020.104589>
- Larrea, J., Rojas, M., Rojas, N., Romeu, B., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC*, 44(3), 24–34.
- Li, D., Zhu, Z., & Sun, D. W. (2021). Quantification of hydrogen bonding strength of water in saccharide aqueous solutions by confocal Raman microscopy. *Journal of Molecular Liquids*, 342, 2–10. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2021.117498>
- Liang, L., Deng, Y., Li, J., Zhou, Z., & Tuo, Y. (2023). Modelling of pH changes in alkaline lakes with water transfer from a neutral river. *Chemosphere*, 310, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.136882>
- López, D., Carvajal, S., Coto, J., Salgado, V., Herrera, J., Rojas, D., & Benavidez, C. (2012). *Variación del oxígeno disuelto en el Río Burío-Quebrada Seca, Heredia, Costa Rica, en el periodo 2005 - 2010*.
- Machado, A., Maurice, L., Mejía, L., Tamayo, E., Tejera, E., Ochoa, V., & Vinueza, D. (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>
- MAE. (2015). *Edición Especial No 387 - Registro Oficial (No. 097-A)*. Lexis. http://huella-ecologica.ambiente.gob.ec/files/AM_140_Incentivos_Ambientales.pdf

- Magni, L., Castro, L., & Rendina, A. (2021). Evaluation of heavy metal contamination levels in river sediments and their risk to human health in urban areas: A case study in the Matanza-Riachuelo Basin, Argentina. *Environmental Research*, 197, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.110979>
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental* (pp. 147–151). Reverté.
- Marchina, C., Bianchini, G., Knoeller, K., Natali, C., Pennisi, M., & Colombani, N. (2016). Natural and anthropogenic variations in the Po river waters (northern Italy): insights from a multi-isotope approach. *Isótopos En Estudios Ambientales y de Salud*, 52(6), 649–672. <https://doi.org/10.1080/10256016.2016.1152965>
- Medina, E., Mancilla, O., Larios, M., Guevara, R., Olguín, J., & Barreto, O. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)*, 34(6), 51–59. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035>
- Meléndez, V. G., Quintero, O. C., & Ramirez, N. A. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 108.
- Méndez, P., Arcos, J., & Cazorla, X. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. *Dominio de Las Ciencias*, 6(2), 734–746. <https://doi.org/10.23857/DC.V6I2.1245>
- Mendoza, B., & Tingo, W. (2016). Estudio de la calidad del agua con bio-indicadores y geomorfología para el desarrollo ecosistémico de la intercuena del río Ambato (EC). *Century Watershed Conference and Workshop*, 21.
- Mendoza, M., & Rosario, M. (2004). Identificación bacteriana mediante secuenciación del ARNr 16S: fundamento, metodología y aplicaciones en microbiología clínica. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 22(4), 238–245. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(04\)73073-6](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(04)73073-6)
- Miljojkovic, D., Trepšić, I., & Milovancevic, M. (2019). Assessment of physical and chemical indicators on water turbidity. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 527. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.121171>
- Monga, A., Fulke, A., & Dasgupta, D. (2022). Recent developments in essentiality of trivalent chromium and toxicity of hexavalent chromium: Implications on human health and remediation strategies. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 1–18. <https://doi.org/10.1016/J.HAZADV.2022.100113>
- Montes, H. (2018). *Valoraciones Fotométricas* [Universidad de Sevilla]. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82151/TFG_Helena.%20FINAL%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relationship between Dissolved Oxygen, Rainfall and Temperature: Zahuapan River, Tlaxcala, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 6(5), 59–74. <https://doi.org/10.4236/JEP.2012.328103>

- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Neogen. (2020). *Caldo m-Endo*. https://www.neogen.com/globalassets/pim/assets/original/10000/official_6500_ampouled-m-endo-broth_technical-specifications_es.pdf
- NTE INEN 1108. (2014). *Agua Potable. Requisitos*. <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- NTE INEN 2169. (2013a). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de las muestras (Primera Edición)*.
- NTE INEN 2169. (2013b). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras (Primera Edición)*.
- NTE INEN 2176. (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo (Primera Edición)*. <https://pdfslide.tips/documents/agua-calidad-del-agua-muestreo-tecnicas-de-tecnica-inennte-inen-2176.html?page=1>
- NTE INEN 2226. (2013). *Agua Calidad del Agua, Muestreo, Diseño de los programas de muestreo (Primera edición)*.
- Olivares, V., Valverde, L., Rodríguez, V., García, R., Muñoz, N., Navarro, M., & Cabrera, C. (2014). Níquel en alimentos y factores influyentes en sus niveles, ingesta, biodisponibilidad y toxicidad: una revisión. *CyTA - Journal of Food*, 87–101. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.917383>
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano (Cuarta edición)*. <http://apps.who.int/>
- OPS. (1998). *Guías para la calidad del agua potable (Vol. 3)*. Organización Panamericana de la Salud. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uta-ebooks/reader.action?docID=317405&query=Contaminacion+del+agua+en+r%C3%ADos>
- Ortega, M., García, J., Rojas, R., & Cadme, M. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería Del Agua*, 25(2), 115–126. <https://doi.org/10.4995/IA.2021.13921>
- Ouarda, T., Charron, C., & St-Hilaire, A. (2022). Regional estimation of river water temperature at ungauged locations. *Journal of Hydrology X*, 17, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.HYDROA.2022.100133>
- 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>
- Patiño, S., Hernández, Y., Plata, C., Domínguez, I., Daza, M., Oviedo-Ocaña, R., Buytaert, W., & Ochoa-Tocachi, B. (2021). Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow

- buffering. *CATENA*, 202, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2021.105227>
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, ISSN 1390-6143, ISSN-e 2477-8893, Vol. 10, Nº. 2, 2019, Págs. 76-88, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Pazos, P. (2008). *Biodisponibilidad de cromo en sedimentos marinos de la ría de Arousa*. Univ Santiago de Compostela.
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3–14. <https://doi.org/10.18845/TM.V29I3.2884>
- Pérez, S. (2015). *Gestión Actual de los Recursos Hídricos en la Subcuenca del río Ambato desde los Actores*. <https://rrmn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/56cc9a4283ba88c90ac8c289>
- Prieto, P. (2022). *Potencial redox: definición, características y aplicaciones*. MédicoPlus. <https://medicoplus.com/ciencia/potencial-redox>
- Probst, A., Martínez, M., García, J., & Ruiz, E. (2015). Influence of anthropogenic inputs and a high-magnitude flood event on metal contamination pattern in surface bottom sediments from the Deba River urban catchment. *Science of The Total Environment*, 514, 10–25. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.01.078>
- Quiroz, S., Izquierdo, E., & Méndez, C. (2017). (PDF) Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41–51.
- Rajesh, M., & Rehana, S. (2022). Impact of climate change on river water temperature and dissolved oxygen: Indian riverine thermal regimes. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12996-7>
- Ramírez, A. (2005). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales de La Facultad de Medicina*, 66(1), 57–70.
- Reichart, O., Szakmár, K., Jozwiak, Á., Felföldi, J., & Baranyai, L. (2007). Redox potential measurement as a rapid method for microbiological testing and its validation for coliform determination. *International Journal of Food Microbiology*, 114(2), 143–148. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2006.08.016>
- Reitter, C., Petzoldt, H., Korth, A., Schwab, F., Stange, C., Hamsch, B., Tiehm, A., Lagkouvardos, I., Gescher, J., & Hügler, M. (2021). Seasonal dynamics in the number and composition of coliform bacteria in drinking water reservoirs. *Science of The Total Environment*, 787, 2–15. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.147539>

- Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. *The University of Arizona - College of Agriculture and Life Sciences - Cooperative Extension, March*, 1–5. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Rodríguez, A., Cuéllar, L., Maldonado, G., & Suardiaz, M. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 251–271. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinbio/cib-2016/cib163f.pdf>
- Rodríguez, C., & Benavidez, M. (2015). Water quality in the upper watershed of the Estero creek in San Ramon, Alajuela, Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 15. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/22597/24020>
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12), 3372–3385.
- Romero, E., Ramos, D., Romero, F., & Sedov, S. (2019). Indicadores indirectos de contaminación residual en suelos y sedimentos de la Cuenca del Río Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 371–386. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.09>
- Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., De-Roubin, M. R., & Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *Journal of Microbiological Methods*, 49(1), 31–54. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(01\)00351-7](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(01)00351-7)
- Sanfeliu, T., Jordán, M., & Sanfeliu, A. (2005). *Contaminación y medio ambiente*. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Sarkar, B., Mukhopadhyay, R., Ramanayaka, S., Bolany, N., & Sik Ok, Y. (2021). The role of soils in the disposition, sequestration and decontamination of environmental contaminants. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376, 1–11. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2020.0177>
- Schaumlöffel, D. (2014). Nickelspezies: Analyse und toxische Effekte. *Perspectives in Medicine*, 2(1–4), 125–132. <https://doi.org/10.1016/J.PERMED.2012.01.007>
- Sedeño, J., López, E., Mendoza, E., Rodríguez, A., & Morales, S. (2019). Distribution Coefficient and Metal Pollution Index in Water and Sediments: Proposal of a New Index for Ecological Risk Assessment of Metals. *Water* 2020, 12(1), 2–20. <https://doi.org/10.3390/W12010029>
- Solís, Y., Zúñiga, L., & Mora, D. (2017). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 31(1), 35–46. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Some, S., Mondal, R., Mitra, D., Jain, D., Verma, D., & Das, S. (2021). Microbial pollution of water with special reference to coliform bacteria and their nexus with environment. *Energy Nexus*, 1, 2–7. <https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2021.100008>

- Soto, J. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, *11*, 167–177.
- Strokal, M., Kahil, T., Wada, Y., Albiac, J., Bai, Z., Ermolieva, T., Langan, S., Ma, L., Oenema, O., Wagner, F., Zhu, X., & Kroeze, C. (2020). Cost-effective management of coastal eutrophication: A case study for the Yangtze river basin. *Resources, Conservation and Recycling*, *154*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104635>
- Tapia, L. (2015). *Edición Especial N° 387 - Registro Oficial* (No. 097-A). http://huella-ecologica.ambiente.gob.ec/files/AM_140_Incentivos_Ambientales.pdf
- Tu, Y. J., You, C. F., & Kuo, T. Y. (2020). Source identification of Zn in Erren River, Taiwan: An application of Zn isotopes. *Chemosphere*, *248*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.126044>
- Uddin, M., Nash, S., & Olbert, A. (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>
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *42*(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.3856/VOL42-ISSUE5-FULLTEXT-12>
- 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>
- Wan, D., & Fiessel, W. (2008). Evaluation of media for simultaneous enumeration of total coliform and *Escherichia coli* in drinking water supplies by membrane filtration techniques. *Journal of Environmental Sciences*, *20*(3), 273–277. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60043-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60043-1)
- Yang, D., Shrestha, R., Lung, J., Tank, S., & Park, H. (2021). Heat flux, water temperature and discharge from 15 northern Canadian rivers draining to Arctic Ocean and Hudson Bay. *Global and Planetary Change*, *204*, 1–18. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2021.103577>
- Yao, N., Liu, Z., Chen, Y., Zhou, Y., & Xie, B. (2015). A Novel Thermal Sensor for the Sensitive Measurement of Chemical Oxygen Demand. *Sensors*, *15*(8), 20501–20510. <https://doi.org/10.3390/S150820501>
- Yu, Y., Sun, J., Li, B., Dong, X., & Ren, Y. (2022). Distribution, behavior and budget of Pb in suspended particles in the Changjiang Estuary and adjacent east China sea. *Chemosphere*, 288. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132643>

Zhang, X., Chen, L., & Shen, Z. (2021). Impacts of rapid urbanization on characteristics, sources and variation of fecal coliform at watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 286, 2–8.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112195>

ANEXOS

ANEXO A. Registro Fotográfico de las zonas de muestreo en la microcuenca del río Colorado.

Figura 3. *Primer punto de muestreo (P1) en la zona alta del río cercana a una estación meteorológica*



Figura 4. *Segundo punto de muestreo (P2) en el afluente medio del río Colorado*



Figura 5. Tercer punto de muestreo (P3), cercano al cruce del afluente medio del río



Figura 6. Cuarto punto de muestreo (P4) en el afluente bajo cercano a lecherías



Figura 7. *Quinto punto de muestreo (P5) en el sector cercano al cruce bajo con el rio Colorado*



ANEXO B. Etiquetado y codificación de las muestras a recolectadas

Figura 8. *Etiqueta y codificación de muestras*



ANEXO C. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio

Figura 9. Preparación del material y procedimiento para la determinación de coliformes mediante el método MF



Figura 10. Ilustración de la determinación de CT (A) y CF (B) del P4 en la dilución 10^{-1}

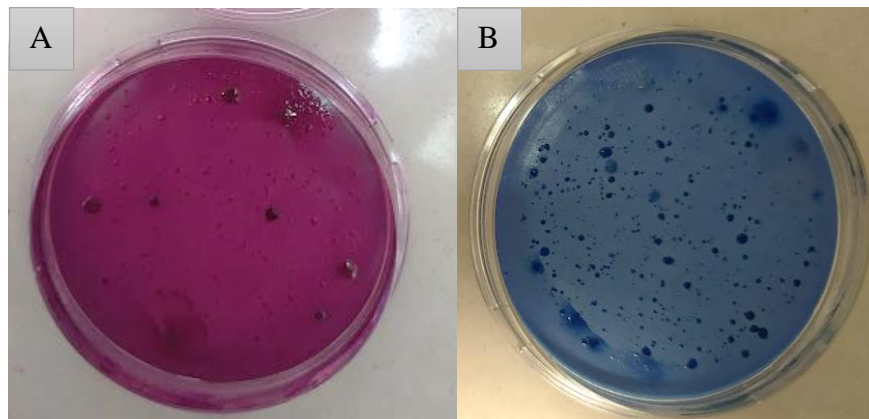


Figura 11. Uso del fotómetro HANNA para la medición de parámetros fisicoquímicos en muestras de aguas y sedimentos



Figura 12. *Uso del GFASS para la medición metales en muestras de aguas y sedimentos*



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

Tabla 15. *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: (MAE, 2015; NTE INEN 1108, 2014)

ANEXO E. Criterios de Calidad del suelo tabla 1, Anexo 2 del Libro VI TULSMA

Figura 13. Valores reportados en Anexo 2 del Libro VI TULSMA sobre los criterios de calidad del suelo

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

Fuente: (MAE, 2015)

ANEXO F. Factores de ponderación según el ICA – NSF y Dinius

Tabla 16. Factores de ponderación (W_i) según el ICA – NSF

Parámetro	W_i
pH	0,11
Δ Temperatura	0,10
Oxígeno disuelto	0,17
Sólidos disueltos totales	0,07
Turbidez	0,08
Fosfato	0,10
Coliformes fecales	0,16
Nitratos	0,10
DBO	0,11

Fuente: (Méndez et al., 2020; Uddin et al., 2021)

Tabla 17. Función de subíndices y ponderaciones para cada parámetro según Dinius

Parámetro	Función para Subíndice (S_i)	W_i
OD	$Si_{OD} = 0.082(OD) + 10.56$	0.109
CT	$Si_{CT} = 136(CT)^{-0.1311}$	0.090
CF	$Si_{CF} = 106(CF)^{-0.1286}$	0.116
pH	$Si_{pH} = 10^{0.6803+0.1856*pH}$ Si pH < 6.9	0.077
	$Si_{pH} = 100$ Si pH = 7	
	$Si_{pH} = 10^{3.65-0.2216*pH}$ Si pH > 7	
ΔT	$Si_{\Delta T} = 10^{2.004-0.0382*\Delta T}$	0.077
Cond	$Si_{Cond} = 506(Cond)^{-0.3315}$	0.079
Dureza	$Si_{Dur} = 552(Cond)^{-0.4488}$	0.065
Nitratos	$Si_{NO_3} = 125(NO_3)^{-0.2718}$	0.090
DBO	$Si_{DBO} = 128(DBO)^{-0.3494}$	0.097

Nota: ΔT : Temperatura ambiente – Temperatura del agua

Fuente: (Dinius, 1987; Flores, 2022)

ANEXO G. Valores obtenidos del ICA – NSF y Dinius

Tabla 18. Valores de ICA – NSF con la aplicación de la fórmula $(S_i) \times (W_i)$

Parámetro	W _i del ICA NSF	P1		P2		P3		P4		P5	
		S _i	Subtotal	S _i	Subtotal	S _i	Subtotal	S _i	Subtotal	S _i	Subtotal
pH	0,11	77	8,44	78	8,62	89	9,75	57	6,23	91	9,99
ΔT (T amb - Tmst)	0,1	41	4,08	44	4,38	41	4,06	61	6,11	63	6,34
Oxígeno disuelto	0,17	99	16,76	99	16,81	97	16,46	98	16,69	98	16,59
Sólidos disueltos totales	0,07	85	5,96	87	6,10	83	5,83	85	5,96	69	4,85
Turbidez	0,08	97	7,79	98	7,88	99	7,95	99	7,95	99	7,91
Fosfato	0,1	25	2,46	28	2,85	24	2,43	35	3,53	24	2,40
Coliformes fecales	0,16	99	15,84	7	1,12	99	15,84	2	0,32	2	0,32
Nitratos	0,1	90	9,09	99	9,92	99	9,92	99	9,90	98,7	9,87
DBO	0,11	82	9,02	79	8,69	99	10,98	80	8,8517	80	8,8517
$\sum ICA$	1	67		53		69		53		51	

Calculo demostrativo de ICA NSF:

$$ICA-NSF = (77 \times 0,11) + (41 \times 0,10) + (99 \times 0,17) + (85 \times 0,07) + (97 \times 0,08) + (25 \times 0,10) + (99 \times 0,16) + (20 \times 0,10) + (82 \times 0,11) = 67$$

Tabla 19. Valores de ICA de Dinius con la aplicación de la fórmula $S_i^{W_i}$

Parámetro	Wi corregido	Subíndice de calidad (S_i)					$S_i^{W_i}$				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
Oxígeno Disuelto	0,131	94,86	90,92	87,80	95,51	96,66	1,82	1,81	1,80	1,82	1,82
Coliformes Totales	0,112	60,21	45,85	53,13	34,94	41,24	1,58	1,54	1,56	1,49	1,52
Coliformes Fecales	0,138	39,11	36,81	49,05	27,70	30,45	1,66	1,65	1,71	1,58	1,60
pH	0,099	69,82	68,41	128,13	49,85	100,81	1,52	1,52	1,62	1,47	1,58
ΔT (T amb - Tmst)	0,099	37,35	40,54	37,09	54,96	57,13	1,43	1,44	1,43	1,49	1,49
Conductividad	0,101	87,96	101,04	83,66	87,96	65,18	1,57	1,60	1,57	1,57	1,53
Dureza	0,087	85,32	134,40	88,90	90,69	73,76	1,47	1,53	1,48	1,48	1,46
DBO	0,119	80,33	80,33	84,77	82,43	82,43	1,69	1,69	1,70	1,69	1,69
Nitratos	0,112	106,02	203,32	205,35	195,20	181,03	1,69	1,81	1,82	1,81	1,79
$ICA = \prod_{i=1}^n S_i^{W_i}$							69	75	79	67	70

Calculo demostrativos del ICA de Dinius:

$$ICA - Dinius = 1,82 \times 1,58 \times 1,66 \times 1,52 \times 1,43 \times 1,57 \times 1,47 \times 1,69 \times 1,69 = 69$$

ANEXO H. Rangos de clasificación del ICA – NSF y Dinius

Tabla 20. *Clasificación del ICA - NSF*

Criterio de uso	Rango
Excelente	91 – 100
Buena	71 – 90
Regular	51 – 70
Mala	26 – 50
Muy Mala	0 – 25

Fuente: (Méndez et al., 2020; Quiroz et al., 2017)

Tabla 21. *Clasificación del ICA de Dinius*

Descripción	Nivel de contaminación	Uso agrícola	Consumo humano
Excelente	100	No es necesario purificar	No es necesario purificar
Aceptable	90-80		Se requiere de menor purificación
Contaminado	70	Baja purificación para cultivos que requieren agua de alta calidad	Es necesario un tratamiento
	60	No es necesario un tratamiento	
Altamente contaminado	50	Tratamiento extensivo para la mayor parte de cultivos	Poco aceptable para consumo humano
	40	Uso para cultivos muy resistentes	Inaceptable
Inaceptable	30	Inaceptable	Inaceptable
	0 – 20		

Fuente: (Dinius, 1987; Flores, 2022)

ANEXO I. Curvas de calidad de cada parámetro según el ICA – NSF

Figura 14. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO, % de Saturación de OD, CF, Nitratos, pH y temperatura

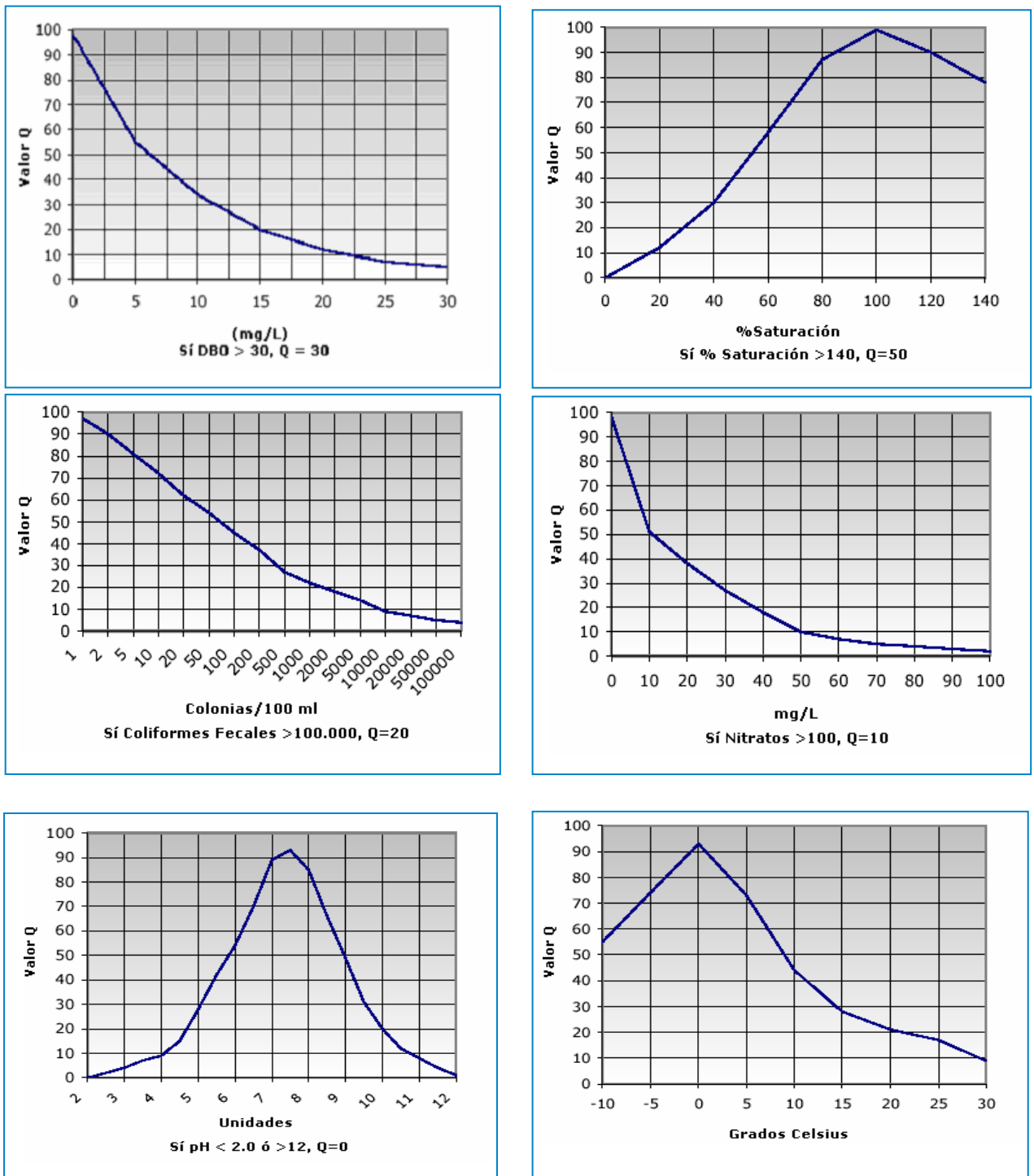
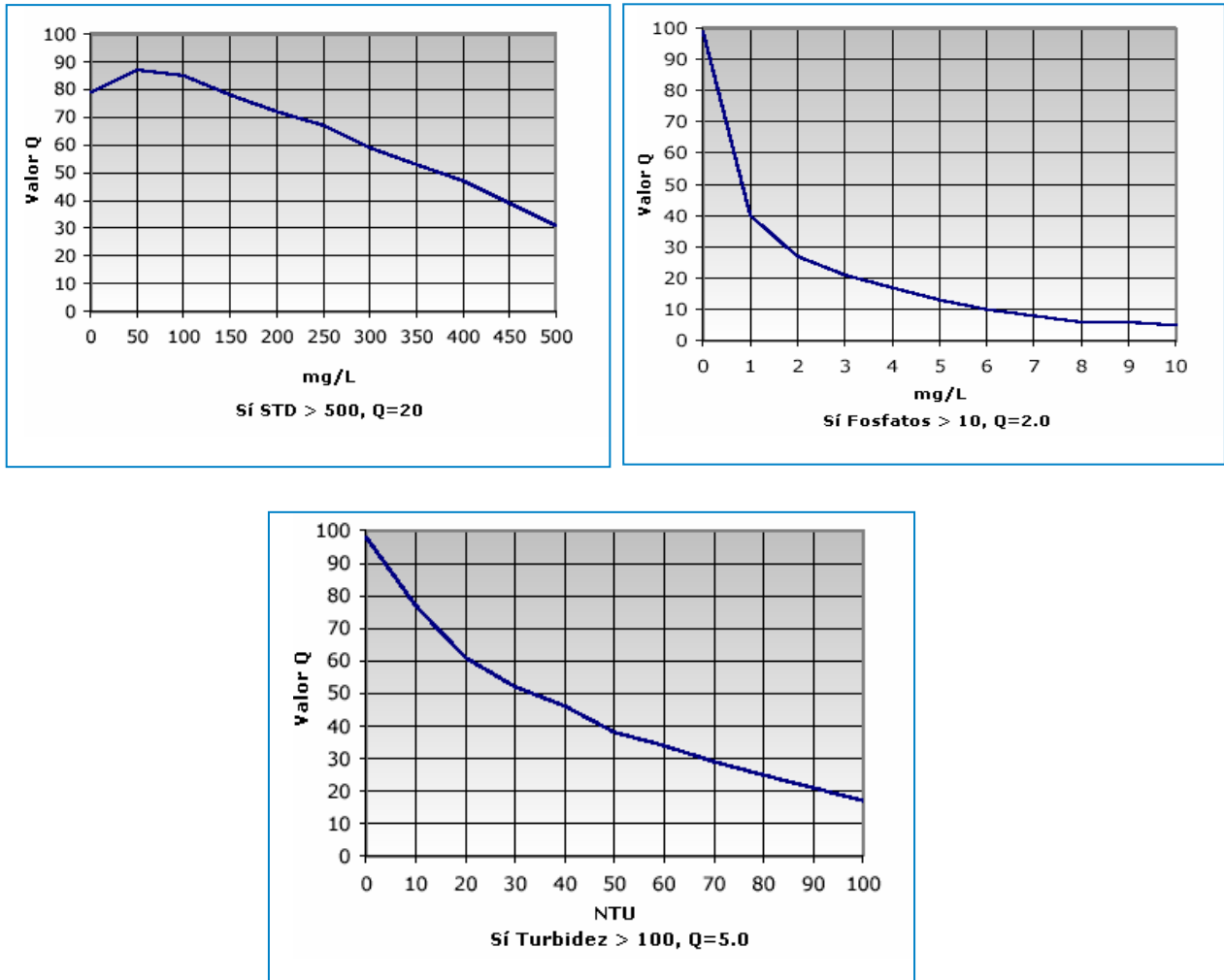


Figura 15. Valoración de la calidad de agua en función STD, fosfatos y turbidez



ANEXO J. 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 Colorado	Dirección	Vía Ambato - Guaranda	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	06 – 13/09/2022	Responsable	Adriana Jacqueline Frias Carrión													
Apariencia de la muestra			Equipos					Coordenadas geográficas		Latitud			Longitud			
Color	Transparente	Medidor multiparamétrico HI 9829					P1			1°25'13.0''S		78°52'37.1''W				
Espuma	Ausencia	Turbidímetro LaMotte					P2			1°24'55.5''S		78°52'05.1''W				
Turbidez	Ausencia	Materiales					P3			1°24'53.1''S		78°51'49.5''W				
M. flotante	Presencia						Botella de Van Dorn, frascos de polietileno, y botellas ámbar.					P4	1°23'14.0''S		78°51'59.1''W	
							P5	1°23'09.2''S		78°51'57.7''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 (%)	ORP (mV)	OD (ppm)	SDT (ppm)	Turbidez NTU	P (mm/Hg)	Coliformes fecales y totales	x	
1	PI - A1; P1 – A2; P1 – A3	13 / 09/ 2022	x		8,15	196,00	8,70	102,80	20,70	7,36	98,00	1,19	471,60	Metales en aguas	x	
2	P2 - A1; P2 – A2; P2 – A3	13 / 09/ 2022	x		8,19	129,00	9,63	98,00	61,50	6,83	64,00	0,71	468,90	DQO y DBO	x	
3	P3 - A1; P3 – A2; P3 – A3	13 / 09/ 2022	x		6,69	228,00	8,62	94,20	79,00	6,75	114,00	0,28	470,00	Nutrientes inorgánicos	x	
4	P4 - A1; P4 – A2; P4 – A3	13 / 09/ 2022	x		8,81	196,00	13,09	103,60	57,50	6,70	98,00	0,26	483,00	SST y ST	x	
5	P5 - A1; P5 – A2; P5 – A3	13 / 09/ 2022	x		7,43	484,00	13,53	105,00	-38,80	6,87	242,00	0,50	482,30	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 envío de muestras					Técnico responsable de la entrega de muestra al laboratorio de análisis					Técnico responsable de la recepción de la muestra en el laboratorio	
					Nombre: Adriana Frias Carrión					Nombre: Adriana Frias Carrión					Nombre:	
					Firma:					Firma:					Firma:	
					Fecha: 13 / 09/ 2022			Hora de entrega: 9:00		Fecha: 13 / 09/ 2022			Hora de entrega: 16:30		Fecha: 13 / 09/ 2022	