

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Monitoreo de la calidad de agua del río Machángara como recurso hídrico para la ciudad de Cuenca, Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Química

Autores:

Valeria Estefanía Berrezueta Jiménez

Michelle Priscila Cabrera Cajamarca

Director:

Sonia Margoth Astudillo Ochoa

ORCID: 0000-0002-8351-6031

Cuenca, Ecuador
2024-04-08

Resumen

El río Machángara, vital para la ciudad de Cuenca, Ecuador, se enfrenta a desafíos significativos que amenazan tanto su sostenibilidad ambiental como la salud pública. Este estudio se enfocó en analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del río con el fin de conocer su estado actual y proponer medidas para una gestión sostenible. La metodología abarcó la recolección sistemática de muestras en cuatro puntos de la cuenca del río Machángara: Laguna Machangaracocha, Represa Chanlud, Ochoa León y el Parque Industrial. Este proceso se desarrolló durante un período de dos meses, con intervalos de muestreo de 15 días. Se analizaron los parámetros: pH, temperatura, color, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, coliformes fecales y coliformes totales.

Los resultados revelaron que las muestras recolectadas de la Laguna Machangaracocha y la Represa Chanlud cumplen con los límites establecidos para los parámetros evaluados. Sin embargo, en los puntos de Ochoa León y Parque Industrial, se detectaron niveles superiores a lo permitido de coliformes fecales y totales en los muestreos, de igual manera se reporta un exceso en fosfatos en el muestreo realizado el 3 de julio en el sector Ochoa León. El índice de calidad promedio a lo largo de la cuenca fue de 75,45. En conclusión, el río Machángara presenta niveles elevados de contaminación por coliformes fecales y totales en los puntos más bajos de su curso. Se recomienda la implementación de monitoreos, normativas y campañas de concientización para mejorar la gestión de este recurso vital. La comunidad debe involucrarse activamente en la protección y preservación del río, adoptando prácticas responsables que contribuyan a su recuperación y mantenimiento a largo plazo.

Palabras clave del autor: calidad de agua, contaminación del agua, monitoreo hídrico

Abstract

The Machángara River, vital to the city of Cuenca, Ecuador, faces significant challenges that threaten both its environmental sustainability and public health. This study focused on analyzing the physical, chemical and microbiological parameters of the river in order to know its current state and propose measures for sustainable management. The methodology covered the systematic collection of samples at four points in the Machángara River basin: Laguna Machangaracocha, Chanlud Dam, Ochoa León and the Industrial Park. This process was developed over a period of two months, with sampling intervals of 15 days. The parameters were analyzed: pH, temperature, color, total dissolved solids, electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, nitrates, phosphates, fecal coliforms and total coliforms.

The results revealed that the samples collected from the Machangaracocha Lagoon and the Chanlud Dam meet the limits established for the evaluated parameters. However, at the points of Ochoa León and Parque Industrial, higher than permitted levels of fecal and total coliforms were detected in the sampling. Likewise, an excess of phosphates was reported in the sampling carried out on July 3 in the Ochoa León sector. The average quality index throughout the basin was 75.45. In conclusion, the Machángara River presents high levels of contamination by fecal and total coliforms at the lowest points of its course. The implementation of monitoring, regulations and awareness campaigns is recommended to improve the management of this vital resource. The community must be actively involved in the protection and preservation of the river, adopting responsible practices that contribute to its recovery and long-term maintenance.

Author keywords: water quality, water pollution, water monitoring

Índice de contenido

Introducción	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	13
Capítulo I: Marco teórico.....	14
Río Machángara	14
Fuentes de Contaminación	15
Parámetros de calidad del agua.....	15
Descripción de parámetros amparados en el TULSMA.....	17
Criterios de calidad de aguas de consumo humano y uso doméstico.	17
Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en agua marinas y estuarios	18
Criterios de la calidad de agua para uso agrícola o de riego.....	18
Normativas auxiliares.....	19
Muestreo.....	19
Selección del tipo de muestreo	19
Métodos para la toma de muestras	20
Muestreo Manual	20
Muestreo en laguna	20
Muestreo de río.....	20
Tipo de muestra	21
Muestras puntuales, instantánea, individual.....	21
Índice de calidad del agua.....	21
Capítulo II: Metodología.....	25
Tipo de investigación	25
Área de muestreo	25
Toma de muestra	28
Preservación y transporte de las muestras	29

Medición y análisis de las muestras	29
Métodos y técnicas de recolección de datos mediante equipos de medición	30
Parámetros físicos	30
Parámetros químicos	34
Parámetros Microbiológicos	36
Capítulo III: Resultados y discusión	37
Evaluación de los resultados frente a los estándares ambientales.....	38
Variación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	45
Parámetros físicos	46
Parámetros Químicos	52
Parámetros microbiológicos	55
Conclusiones y recomendaciones	57
Conclusiones	57
Recomendaciones	57
Referencias	59
Anexos	62

Índice de figuras

Figura 1: Área de estudio y toma de muestras. Elaboración propia.....	26
Figura 2: Laguna Machangaracocha.....	27
Figura 3: Represa Chanlud	27
Figura 4: Sector Ochoa León	28
Figura 5: Sector Parque Industrial.....	28
Figura 6: Análisis de temperatura.....	30
Figura 7: Análisis de color.....	31
Figura 8: Análisis de turbidez	32
Figura 9: Análisis sólidos disueltos totales	32
Figura 10: Análisis de conductividad eléctrica	33
Figura 11: Análisis de oxígeno disuelto	33
Figura 12: Análisis de potencial de hidrógeno	34
Figura 13: Análisis de nitratos	35
Figura 14 : Análisis de fosfatos	36
Figura 15: Análisis de coliformes fecales y totales	36
Figura 16: Representación gráfica ICA, izquierda global de la cuenca, derecha referente al sector. Elaboración propia	45
Figura 17: Temperatura en función del punto de muestreo y fecha. Elaboración propia	46
Figura 18: Evaluación del color. Elaboración propia.....	47
Figura 19: Evaluación de la turbidez. Elaboración propia.....	48
Figura 20: Evaluación de sólidos disueltos totales. Elaboración propia.....	49
Figura 21: Evaluación de la conductividad eléctrica. Elaboración propia.....	50

Figura 22: Evaluación de oxígeno disuelto. Elaboración propia	51
Figura 23: Evaluación de potencial de hidrógeno. Elaboración propia	52
Figura 24: Evaluación de nitratos. Elaboración propia.....	53
Figura 25: Evaluación de fosfatos. Elaboración propia.....	54
Figura 26: Evaluación de coliformes totales y fecales. Elaboración propia.....	55

Índice de tablas

Tabla 1: Pisos Climáticos (Sánchez, 2013)	14
Tabla 2: Ministerio del Ambiente. (2015). Criterios de calidad de aguas de consumo humano y uso doméstico	17
Tabla 3: Ministerio del Ambiente. (2015). Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en agua marinas y estuarios	18
Tabla 4: Ministerio del Ambiente. (2015). Criterios de la calidad de agua para uso agrícola o de riego.....	18
Tabla 5: Normativas auxiliares NTE INEN 1108-2020 Norma Colombiana Resolución 2115-2007.....	19
Tabla 6: SEMARNAT. (2019) Índices de calidad de agua individuales y criterios	22
Tabla 7: SEMARNAT. (2019). Clasificación de criterios para aplicación del ICA	23
Tabla 8: Puntos de muestreo Google Earth, elaboración propia.....	26
Tabla 9: Cronograma de muestreo	29
Tabla 10: Parámetros de las muestras que fueron analizados in-situ (Punto de muestreo) y ex-situ (Laboratorio de Calidad del agua.....	30
Tabla 11: Recopilación de datos. Elaboración propia.	37
Tabla 12 : Parámetros registrados en Laguna Machangaracocha y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))	38
Tabla 13 : Parámetros registrados en Represa Chanlud y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))	39
Tabla 14: Parámetros registrados en Sector Ochoa León y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))	40
Tabla 15: Parámetros registrados en Sector Parque industrial y límites máximos establecidos	

en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa)) 41

Tabla 16: ICA obtenido en el estudio de manera global y sectorizada 42

Agradecimiento

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la compañía ELECAUSTRO por otorgarnos el permiso correspondiente para acceder a las áreas protegidas de la Represa Chanlud y la Laguna Machangaracocha. Además, agradecemos profundamente su preocupación por nuestra integridad al proporcionarnos un guardabosques como guía durante todo el trayecto de muestreo en estos sectores.

Nos gustaría extender nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad de Cuenca por brindarnos la oportunidad de utilizar las instalaciones del Laboratorio de Calidad de Aguas. Especial reconocimiento merece el Dr. Geovanny Larriva, cuya tutela y asesoramiento fueron fundamentales para la realización exitosa de la evaluación de todos los parámetros establecidos en el marco de esta tesis.

De igual manera, deseamos expresar nuestros más profundos agradecimientos a nuestra tutora, la Ing. Sonia Astudillo, cuya orientación experta y paciencia inquebrantable fueron pilares fundamentales a lo largo de todo el desarrollo de este estudio.

Por último, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que nos acompañaron a lo largo de esta tesis y formación académica, cuya presencia y apoyo fueron fundamentales en cada etapa de este proceso.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi estupenda mamá que nunca permitió que me rinda y me impulsaba a ser fuerte, a mi padre por brindarme un oído atento en el camino, a mis tres hermanos Rommel, Dalí y Mathias, a los cuales amo con todo mi corazón, a mis tíos, tías y primos/as grandes que siempre creyeron en mis capacidades y con mucho amor se convirtieron en mis hermanos de vida, de igual manera a mis primos/as pequeños/as por alegrar cada momento; a mi querida abuelita que es como una segunda madre, por siempre demostrarme que el amor y la fe son primordiales para la vida.

De igual manera, agradezco infinitamente a mi pareja por su amor y apoyo incondicional durante este proceso y por enseñarme que todo es posible mientras sigamos vivos, de igual manera a mi querido Santi. No me alcanzan las palabras para agradecer a cada uno de ustedes, ya que, sin su guía, apoyo y sonrisas, esto no sería una realidad. ¡Gracias por ser mi amada familia!

Valeria Estefanía Berrezueta Jiménez

Dedico esta tesis a Dios, fuente de fortaleza y guía en mi camino académico, y a mis padres, cuyo amor y sacrificio han sido mi mayor inspiración. A mis abuelitos y tíos, por su constante apoyo y aliento. En especial, a mi querida hermana, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable fueron mi luz en los momentos más oscuros de mi salud. Esta tesis es el fruto del amor, la fe y el esfuerzo de todos aquellos que han estado a mi lado.

¡Gracias por ser parte de este logro!

Michelle Priscila Cabrera Cajamarca

Introducción

El agua es un recurso vital para el desarrollo y sustento de la vida en nuestro planeta, y su gestión debe ser llevada a cabo de manera responsable. Del total de agua en la Tierra, aproximadamente el 97,5% es agua salada, mientras que solo alrededor del 2,5% es agua dulce. Esta agua dulce se divide principalmente en dos categorías: superficial y subterránea. La importancia del agua dulce superficial radica en su papel fundamental en el suministro de agua potable, en la agricultura y en la preservación de una amplia gama de ecosistemas acuáticos. (ONU, 2015).

Por ello es de importancia mundial el manejo de este recurso de tal manera que este se encuentra en el objetivo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la totalidad de los objetivos son 17 expresados en el año 2015, en el cual se generó una agenda referente al desarrollo sostenible con el fin de pronosticar y mejorar el bienestar de todas las personas para el año 2030; el punto de ello es erradicar la pobreza mediante el uso de estrategias que fomentan el fortalecimiento económico, social y conciencia medioambiental.

En este caso uno de los objetivos que ampara la gestión del recurso antes mencionado es el objetivo seis, el cual describe el poder garantizar la disponibilidad de agua, así como su gestión sostenible y el saneamiento de la misma para todas las personas ya que estos son una necesidad humana; en este inciso se pronostica que en 2030 el manejo actual del recurso no será suficiente, ya que el crecimiento de urbes, agricultura, sectores industriales, entre otros, llegaran a demandar el uso del recurso a alta escala (ONU, 2015).

Si bien se deben atender las necesidades de la población, se debe considerar como fundamental que se respete la gestión dirigida al manejo sostenible permitiendo monitoreos de calidad y cantidad, así como la estabilidad del flujo, lo cual permite el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad (Menchaca & Calva, 2022); debido a esto, es de vital importancia un monitoreo constante en los cuerpos de agua dulce; en este trabajo se monitorea la cuenca del Río Machángara en la ciudad de Cuenca-Ecuador con el fin de evaluar parámetros de calidad durante un periodo de tiempo establecido de manera puntual. Los objetivos para este trabajo fueron los siguientes:

Objetivo General

Determinar el estado actual de la calidad del agua del río Machángara, como un recurso hídrico para la ciudad de Cuenca, Ecuador, mediante el análisis de diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Objetivos Específicos

- Realizar el proceso de recolección de muestras en el río Machángara por tres puntos establecidos: Laguna Machangaracocha, Ochoa León y Parque Industrial de la ciudad de Cuenca.
- Analizar la calidad del agua del río Machángara en términos de pH, turbidez, color, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos y bacterias coliformes.
- Comparar la calidad del agua del río Machángara con los estándares de calidad del agua para su uso humano y ecológico denotados en el libro VI del TULSMA.
- Establecer recomendaciones de mejora para la gestión del recurso hídrico

Capítulo I: Marco teórico

Río Machángara

La subcuenca del río Machángara pertenece a la cuenca del río Paute, está ubicada en las proximidades de la cordillera de los Andes en la zona austral del Ecuador en las parroquias de Checa, Chiquintad, Sinincay, Sayausi, Octavio Cordero Palacios, Ricaurte y Sidcay de la provincia del Azuay; así mismo, en las parroquias de Jerusalén, Nazón, Lozano, Turupamba, Déleg, Cojitambo y Javier Loyola pertenecientes a la provincia de Cañar (Saquisilí, 2019). La subcuenca Machángara tiene una extensión de 325 km², cuya altura varía desde los 2400 m.s.n.m. hasta los 4415 m.s.n.m. nace en el Parque Nacional Cajas (Carchi, 2015). Está conformada por tres microcuencas denominadas Chulco, Machángara Alto y Machángara Bajo y contribuye significativamente a la demarcación hidrográfica Santiago que conforma el río Amazonas (Saquisilí, 2019).

La subcuenca Machángara se aprovecha para agua potable, riego, piscicultura, industria y generación de energía eléctrica gracias a los embalses El Labrado y Chanlud. Estos se encuentran en la parroquia Chiquintad junto con los límites de la parroquia Checa que producen electricidad y alimenta la planta potabilizadora Tixán (Díaz, 2015). El agua potable generada abastece al 60 % de la población cuencana por ende es primordial que la calidad del agua sea la óptima, sin embargo, se debe tener en cuenta que la calidad podría disminuir aguas abajo debido a las descargas residuales, industriales y escorrentía (Pauta-Calle et al., 2019). Se ha determinado tres pisos climáticos en función de la altitud, temperatura y localización como se describen a continuación en la tabla 1: (Saquisilí, 2019) (Sánchez, 2013)

Tabla 1: Pisos Climáticos (Sánchez, 2013)

Piso Climático	Característica
Nival	La altitud es superior a 4000 msnm y la temperatura varía entre 0 y 4 °C.
Ecuatorial de Alta Montaña	Denominado clima de páramo, ocurre en las altas montañas donde la temperatura varía de 4°C a 8°C, con precipitaciones prolongadas leves de aproximadamente 800mm a 2000 mm por año.

Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo	Estos climas presentan una curva de lluvia bimodal con dos picos de lluvia, el primero de enero a mayo y el segundo de octubre a noviembre con una temperatura entre los 12°C y 20 °C.
------------------------------------	--

La subcuenca del río Machángara tiene una longitud de 159820,86 m (Carchi, 2015). Gracias a la variabilidad de climas en los páramos, bosques y pajonales se ha desarrollado una gran diversidad de fauna y flora, incluido especies endémicas de la zona, por tal razón, estas zonas se encuentran catalogadas como Áreas de Bosque y Vegetación Protectora del Machángara (Díaz, 2015). En la parte baja de la subcuenca del río Machángara está ubicado el Parque Industrial del cantón Cuenca, donde se estima que aproximadamente 120 empresas son beneficiarias del recurso hídrico (Sánchez, 2013).

Fuentes de Contaminación

El río Machángara es uno de los ríos más importantes para la ciudad de Cuenca-Ecuador, este es aprovechado altamente para fines agrícolas, industriales, generación de energía e incluso en su recorrido existe la potabilización de la misma en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán, al ser un río que atraviesa la ciudad, está expuesto a diversas fuentes de contaminación considerando que la contaminación es tomada como cualquier alteración en cuanto a las características físicas, químicas o biológicas llegando a concentraciones no aptas para el objetivo deseado o que el mismo cause un daño al ecosistema acuático, seres humanos o ambiente (ETAPA EP, 2023).

Las fuentes de contaminación son diversas, entre ellas se considera la descarga de efluentes, actividades agrícolas, industria, residuos sólidos, actividades ganaderas, entre otros, los cuales pueden ser no adecuadamente controlados, estas descargas pueden ser de tipo puntual y no puntual es decir que es posible o no dar con la fuente del contaminante de manera exacta (Ministerio del Ambiente, 2015).

Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua son indicadores que abarcan aspectos físicos, químicos y microbiológicos, y se emplean para evaluar su idoneidad para diversos usos. La meta es recopilar información que permita categorizar el agua según las regulaciones establecidas, garantizando su seguridad para aplicaciones específicas como consumo humano, agricultura, entre otros. Los parámetros considerados en este estudio son los siguientes:

- **Potencial de hidrógeno:** Permite medir la alcalinidad o acidez del agua mediante el

empleo de una escala de 0 a 14, en donde el punto medio es 7 considerado neutro, los valores declarados por encima de 7 son considerados alcalinos y por debajo de 7 se consideran ácidos.

- **Color:** Este parámetro permite obtener una referencia visual, este es dependiente de las sustancias que se encuentren disueltas en el agua.
- **Turbidez:** Relacionada con la cantidad de partículas suspendidas presentes en el agua, a mayor concentración de partículas mayor es la turbidez, se mide generalmente en unidades nefelométricas de turbidez (NTU).
- **Temperatura:** Permite determinar la cantidad de calor en el agua, este factor es variante ya que depende de factores como la época del año, la hora del día y la ubicación geográfica.
- **Conductividad eléctrica:** Esta mide la capacidad del agua para conducir electricidad, la conductividad es directamente proporcional a la cantidad de sales presentes.
- **Oxígeno disuelto:** Esencial para la vida acuática, este permite cuantificar la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua.
- **Nitratos:** Son indicadores de contaminación, pueden generar riesgos para la salud y contribución en la eutrofización de los cuerpos de agua favoreciendo así la proliferación de algas.
- **Fosfatos:** Dentro de su composición contienen fósforo, siendo fundamental para el crecimiento de algas y plantas, por otro lado, el exceso del mismo provoca eutrofización.
- **Sólidos disueltos totales:** Concentración global de sólidos disueltos presentes en una muestra de agua.
- **Coliformes fecales:** Son comúnmente bacterias que se encuentran dentro de los intestinos de animales de sangre caliente, su presencia indica contaminación fecal.
- **Coliformes totales:** Grupo de bacterias que incluyen los coliformes fecales y otros tipos de coliformes no fecales, este se emplea como la calidad bacteriológica del agua de manera general.

(SEMARNAT, 2019).

Descripción de parámetros amparados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria Ministerio del Ambiente (TULSMA)

La norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua se encuentra como Anexo 1 en el TULSMA siendo el principal enfoque de este el establecimiento de principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua como recurso, para fines de este estudio se emplearan tres comparativos que amparen los siguientes usos del recurso (Ministerio del Ambiente, 2015).

Criterios de calidad de aguas de consumo humano y uso doméstico.

En este apartado se declara una primera tabla que contiene los parámetros considerados criterios de calidad para las fuentes de agua para consumo humano y doméstico, de esta tabla se extraen los parámetros considerados en este estudio de calidad de agua

Tabla 2: Ministerio del Ambiente. (2015). Criterios de calidad de aguas de consumo humano y uso doméstico

Parámetros	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6-9
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UTN	100,0
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000

Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en agua marinas y estuarios

La norma describe a este punto como recurso destinado para su empleo en actividades que poseen como objetivo mantener la vida natural y la no alteración en ellos o su empleo para actividades en referencia a la permisión del aprovechamiento de especies bioacuáticas; de esta tabla se extraen los siguientes parámetros:

Tabla 3: Ministerio del Ambiente. (2015). Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en agua marinas y estuarios

Parámetros	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6,5-9
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UTN	0-50 + 5%
			50-100 +10%
			> 100 +20%
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación mg/l	> 80
Nitratos	NO3	mg/l	200

Criterios de la calidad de agua para uso agrícola o de riego

Se considera a aquellas aguas cuyo fin es emplearse para el riego de cultivos u otras actividades complementarias establecidos de manera legal.

Tabla 4: Ministerio del Ambiente. (2015). Criterios de la calidad de agua para uso agrícola o de riego

Parámetros	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6-9
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación mg/l	3

Conductividad eléctrica	CE	μS/cm	700
Sólidos totales disueltos	SDT	ppm	450

Normativas auxiliares

El TULSMA no regula los parámetros coliformes totales y fosfatos, en virtud de ello se toma como referencia a la norma NTE INEN 1108-2020 y la Norma Colombiana Resolución 2115-2007 respectivamente.

Tabla 5: Normativas auxiliares NTE INEN 1108-2020 Norma Colombiana Resolución 2115-2007

Normativa	Parámetros	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
NTE INEN 1108-2020	Coliformes totales	CT	NMP/100ML	1100
Norma Colombiana Resolución 2115-2007	Fosfatos	PO4	mg/l	0,52

Muestreo

La técnica de muestreo es esencial para recolectar una porción representativa de un cuerpo de agua, lo cual es necesario para analizar parámetros específicos (NTE INEN 2176, 2013). Se realiza en un lugar y momento determinado según el tipo de muestreo y método empleado.

Selección del tipo de muestreo

A continuación, se detallan los criterios para la selección del punto de muestreo en las áreas seleccionadas con la finalidad de obtener datos de calidad.

Accesibilidad: Es importante elegir un punto de muestreo de fácil acceso, ya sea por carretera o caminos, de esta manera se facilita el transporte de equipos y dispositivos para la toma de muestras. Elegir un lugar accesible reduce el riesgo a accidentes y el costo asociado a la toma de muestras.

Representatividad: La representatividad del punto de muestreo es esencial para asegurar que las muestras reflejen con precisión las características del cuerpo de agua que se evalúa. El punto debe ubicarse estratégicamente de tal manera que la muestra tenga homogeneidad en térmicos de turbulencia y apariencia física.

Seguridad: La seguridad está estrechamente relacionada con el criterio de accesibilidad, y es de suma importancia para garantizar la salud de las personas que realizan el muestreo. Se debe evaluar el punto de muestreo y el área circundante para minimizar el riesgo de accidentes y lesiones. Se debe tener extremo cuidado en áreas potencialmente peligrosas como ríos donde la corriente es fuerte, deslizamientos de tierras o grandes objetos sólidos. Es recomendable el uso de equipos de seguridad y protección personal para garantizar la seguridad del operador (Ríos, 2016).

Métodos para la toma de muestras

Muestreo Manual

El muestreo manual es una técnica de recolección de muestras de agua que se realiza de forma directa y manual. Consiste en extraer una porción representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características (Tinoco et al., 2003). El muestreo manual se lleva a cabo mediante la utilización de frascos de vidrio para recoger las muestras y llevarlas a laboratorios donde serán examinadas para determinar parámetros (NTE INEN, 2013). Es importante tener en cuenta que el muestreo manual es una técnica que requiere de personal capacitado y experimentado, ya que la calidad de los resultados obtenidos dependerá en gran medida del correcto manejo y conservación de las muestras (AGACE - *Manual*, 2008).

Muestreo en laguna

El muestreo en lagunas y lagos, consiste en tomar muestras en todos los puntos y profundidades disponibles al ingreso y salida del agua. Los cuerpos de agua pueden estratificarse térmicamente, por ende, la calidad del agua puede variar significativamente. Los estudios ecológicos requieren de manuales de muestreos más detallados. En masas de agua de gran tamaño, a menudo es necesario tomar muestras desde barcos (NTE INEN 2226, 2000).

Muestreo de río

El muestreo en ríos consiste en tomar muestras transversales y de profundidad estratégicas

para comprender la naturaleza y extensión del río. Para la selección de los lugares se debe tener en cuenta que la misma sea representativa, preferiblemente en áreas donde existan cambios notables de la calidad del agua. Finalmente, si se requiere conocer los efectos de una descarga se recomienda tomar muestras aguas arriba y abajo del punto de descarga (NTE INEN 2226, 2000).

Tipo de muestra

Muestras puntuales, instantánea, individual

Las muestras individuales, recolectadas ya sea manual o automáticamente en aguas superficiales a una profundidad y momento específico, se conocen como puntuales. Estas reflejan la calidad del agua en el lugar y momento de la toma. El muestreo automático implica tomar una serie de estas a intervalos de flujo o tiempo preestablecidos. En caso de variabilidad en el flujo de agua o de los parámetros de interés, se recomienda optar por individuales en lugar de compuestas. (NTE INEN, 2013).

La muestra puntual es óptima para la investigación de una posible contaminación, la determinación de su extensión o, en el caso de una muestra individual recolectada automáticamente, para determinar el momento del día cuando los contaminantes están presentes. Para establecer un programa de muestreo más amplio, también se pueden tomar muestras puntuales. Cuando el objetivo del programa de muestreo es determinar si la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio, las muestras puntuales son esenciales. Se recomienda la toma de muestras puntuales para medir parámetros inestables como la concentración de gases disueltos, cloro residual y sulfitos solubles (NTE INEN 2013).

Índice de calidad del agua

El índice de calidad de agua (ICA) es empleado para la evaluación de la contaminación presente en el agua siendo este un reflejo de la aplicación de diversos parámetros referentes a calidad de agua denotados como generales, estos amparan a la parámetros físicos, químicos y microbiológicos; en este caso aplicará el análisis empleando el método aditivo, la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1 ICA

En donde I_i es el índice de calidad del i -ésimo parámetro; W_i es el coeficiente de ponderación

del *i*-ésimo parámetro, *n* es el número total de parámetros evaluados, este índice puede obtener como resultantes valores mayores a 100 para ello existen varios criterios a considerar dependiendo del comportamiento matemático de estas ecuaciones (Chang Gómez, 2009).

Tabla 6: SEMARNAT. (2019) Índices de calidad de agua individuales y criterios

Índice de calidad	Unidad	Ecuación	Criterios
I_{pH}	-	$10^{0,2335pH+0,44}$ a	pH < 6,7a
		100b	pH < 6,7 – 7,3b
		$10^{4,22-0,293pH}$ c	pH > 7,3c
I_c	Unidades de Pt-Co	$123(C)^{-0,295}$	C < 2,018
I_T	NTU	$108(T)^{-0,178}$	T < 1,54
I_{SD}	mg/L	$109,1 - 0.0175(SD)$	SD < 520; ICA = 100
			SD > 6234; ICA = 0
I_{CE}	µmhos/cm	$540(CE)^{-0,379}$	CE < 85,6; ICA = 100
I_{N-NO3}	mg/L	$162,2(N - NO_3)^{-0,343}$	N – NO3 < 0,11; ICA = 100
I_{PO4}	mg/L	$34,214(PO_4)^{-0,46}$	N – NO3 < 0,0971; ICA = 100
I_{OD}	mg/L	$\frac{OD}{OD_{Sat}} * 100$	---
	°C		

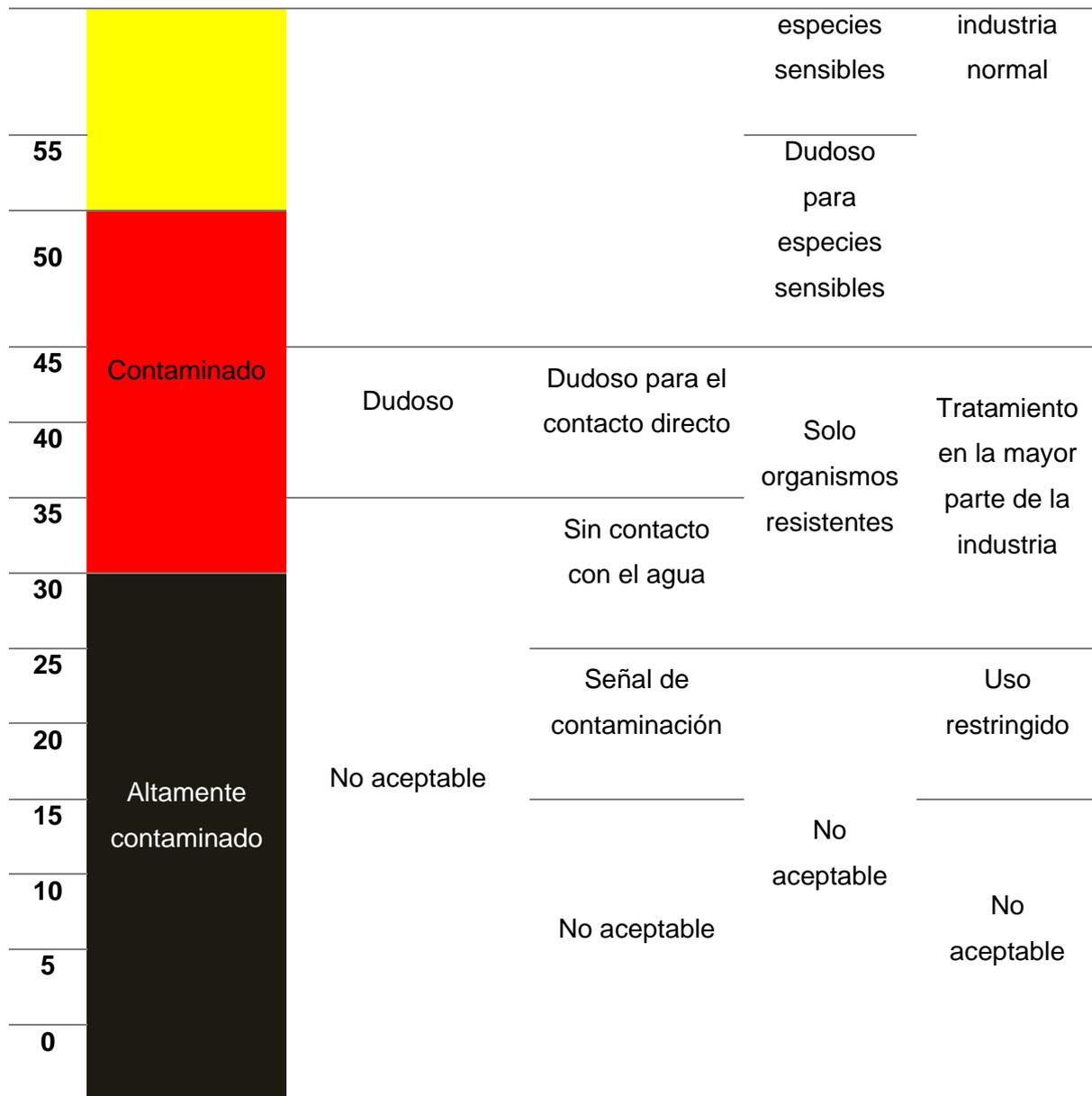
$$OD_{Sat} = -0,000051502T_{amb}^3 + 0,0066298736T_{amb}^2 - 0,3857193429T_{amb}^1 + 14,5340993437$$

I_{CT}	NMP/100ml	$97,5(CT)^{-0.27}$	CT = 0; ICA = 100
I_{Ec}	NMP/100ml	$97,5 [5(CF)]^{-0.27}$	CF = 0; ICA = 100

En cuanto al coeficiente de ponderación W_i , este es dado por la tabla que declara SEMARNAT en el cual a cada parámetro le corresponde un valor W_i : potencial de hidrógeno 1.0; color 1.0; turbiedad 0.5; sólidos disueltos 0.5; conductividad eléctrica 2.0; nitratos 2.0; fosfatos 2.0; oxígeno disuelto 5.0; coliformes totales 3.0 y coliformes fecales 4.0; al obtener el ICA este debe ser clasificado según los siguientes criterios.

Tabla 7: SEMARNAT. (2019). Clasificación de criterios para aplicación del ICA

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación
95					
90					
85	Aceptable	Ligera purificación			Ligera purificación para algunos procesos
80					
75					
70	Poco contaminado	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Aceptable excepto para	Sin tratamiento para la
65					
60					



Capítulo II: Metodología

Tipo de investigación

La presente investigación aplica una metodología de tipo mixta, ya que combina la investigación cuantitativa y de campo.

Investigación de Campo: Esta metodología consiste en la recolección de datos del entorno natural, donde la observación y el muestreo se realiza in-situ en el lugar y tiempo donde se producen los fenómenos naturales, fuera de un ambiente controlado (Grajales, 2000). Según Arias (1999) en la investigación científica de campo los datos se recolectan directamente de la realidad en la que sucede los hechos, estos datos se conocen como primarios. Durante la investigación la información de las variables no se puede alterar, para no modificar las condiciones existentes; estos datos se pueden combinar con datos secundarios que provienen de fuentes bibliográficas.

Investigación cuantitativa: Esta metodología se aplica al disponer de datos numéricos para investigar, analizar y verificar la información. (Alan & Cortez, 2018). Dentro de la investigación cuantitativa se analiza variables dependientes e independientes (como el pH, turbidez, oxígeno disuelto, temperatura, nitratos, fosfatos y bacterias coliformes), es importante considerar el error, confiabilidad y la validez de los resultados (Sheard, 2018). Con la finalidad de generar conocimiento y crear conciencia social en la calidad del agua del río Machángara.

Área de muestreo

El río Machángara es de suma importancia para la ciudad de Cuenca, sirviendo como un pilar vital para la comunidad. Este río abarca un área total de 32,500 hectáreas, distribuidas en las parroquias de Checa, Chiquintad, Sinincay, Sayausí, Octavio Cordero Palacios, Ricaurte, Sidcay, Jerusalén, Nazón, Turupamba, Cojitambo, Deleg, Javier Loyola y Solano. Es relevante destacar que, según el Ministerio del Ambiente, el 77% de la superficie de la cuenca de este río se encuentra en áreas con vegetación (ETAPA EP, 2023).

El río desempeña un papel crucial como fuente principal de energía a través de las centrales Saymirín y Saucay, y simultáneamente sirve como recurso hídrico esencial para la población, el ganado, la industria y la agricultura en una de las ciudades más densamente pobladas de Ecuador. Con el propósito de evaluar detalladamente la degradación de este recurso a lo largo de la cuenca, se ha decidido identificar y delimitar cuatro puntos estratégicos clave para llevar a cabo este estudio.

Figura 1: Área de estudio y toma de muestras. Elaboración propia

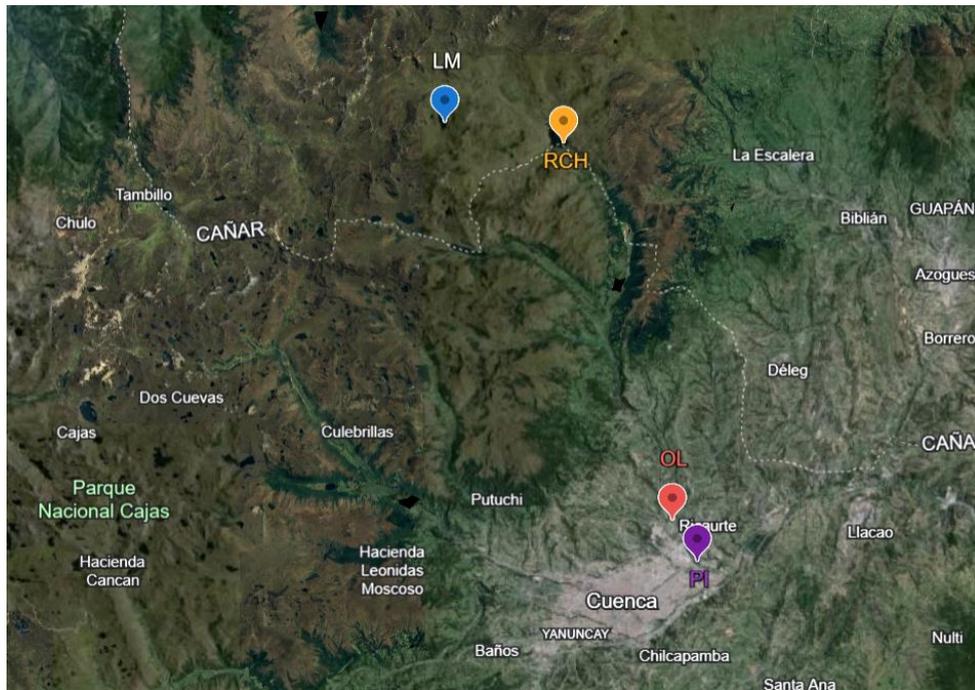


Tabla 8: Puntos de muestreo Google Earth, elaboración propia

Zona	Coordenadas	Nomenclatura
Laguna Machangaracocha	2°40'11"S 79°05'28"W	LM
Represa Chanlud	2°40'45"S 79°02'04"W	RCH
Ochoa León	2°51'42"S 78°58'51"W	OL
Parque Industrial	2°52'54"S 78°58'07"W	PI

LM.- Se seleccionó la Laguna Machangaracocha, ubicada en el sector Gualleturo de la provincia de Cañar, como el primer punto de muestreo ya que en este lugar el contacto humano y el pastoreo de ganado son limitados además dicha área se encuentra reconocida en el país como Refugio de la Vida Silvestre Machángara-Tomebamba (Orellana, 2023).

Figura 2: Laguna Machangaracochoa

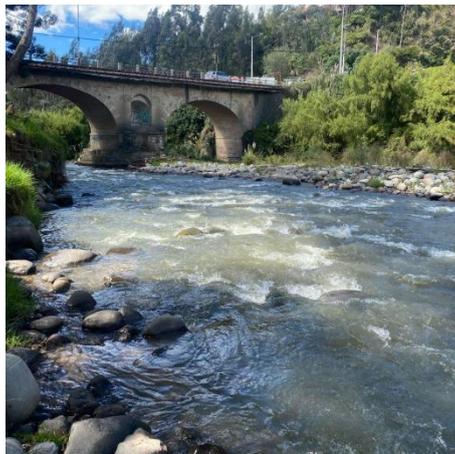
RCH. - El segundo lugar seleccionado para el muestreo corresponde a la Represa Chanlud, que cumple la función de retener y regular el agua para abastecer los sistemas integrados de la cuenca del río Machángara (Orellana, 2023). Esta ubicación adquiere relevancia debido a su atractivo turístico, siendo un destino frecuentado tanto por visitantes locales como extranjeros.

Figura 3: Represa Chanlud

OL. - El Sector Ochoa León se ha establecido como el tercer punto de muestreo debido a la presencia de diversos complejos residenciales, tráfico vehicular significativo, grupos dedicados a la ganadería y la actividad de lavado de ropa en la cuenca del río (Comisión de Gestión Ambiental, 2014). Estas observaciones indican que la zona está expuesta a altos niveles de contaminación, subrayando así la importancia crítica de evaluar la calidad del agua del río en este lugar específico.

Figura 4: Sector Ochoa León

PI. - Se decidió estudiar el parque industrial debido a las actividades manufactureras que allí se llevan a cabo, las cuales pueden generar emisiones y desechos contaminantes, afectando el medioambiente y las descargas de efluentes al río (Córdova, 2022). Dado que este parque industrial alberga aproximadamente 133 empresas, es fundamental evaluar la calidad del agua en este punto.

Figura 5: Sector Parque Industrial

Toma de muestra

Se llevó a cabo el muestreo en los cuatro puntos anteriormente mencionados, ejecutando cada toma de muestra a lo largo de la cuenca del río Machángara por un periodo de dos meses y con intervalos regulares de 15 días entre ellas. Esta planificación temporal permitió abordar la dinámica cambiante de las condiciones ambientales y obtener datos representativos.

Tabla 9: Cronograma de muestreo

Muestreo	Fecha
Muestreo 1 (M1)	19/06/2023
Muestreo 2 (M2)	03/07/2023
Muestreo 3 (M3)	17/07/2023
Muestreo 4 (M4)	31/07/2023

Para la toma de muestras del análisis físico-químico se utilizaron recipientes de plástico esterilizados de mínimo un litro de capacidad; mientras que para el análisis microbiológico se usaron recipientes de 100 mL acorde con las especificaciones de la NTE INEN 2176:2013; antes de tomar las muestras se debe verificar que el recipiente este limpio y sea el adecuado para el análisis, la recolección se realizó en el centro del río llenando cada recipiente en su totalidad; las muestras obtenidas se rotularon en el envase con datos de fecha, hora, punto de muestreo, nombre de la persona que muestreo, código de la muestra y tipo de análisis a realizarse para asegurar el seguimiento y trazabilidad de las muestras.

Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Calidad de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, para así cumplir con los objetivos de la investigación sobre la calidad del agua de la cuenca del Machángara.

Preservación y transporte de las muestras

Las muestras fueron almacenadas a temperaturas más bajas que las condiciones de recolección, empleando una caja térmica preservando una temperatura de 2 a 5°C. Durante el transporte, se requiere mantener las muestras en un entorno fresco y protegido de la luz, conforme a las directrices establecidas en la norma NTE INEN 2169:2013.

Medición y análisis de las muestras

Se recolectaron un total de 16 muestras al finalizar el monitoreo en las 4 zonas, y se analizaron 11 parámetros por cada una de ellas, tales como temperatura, pH, color, conductividad eléctrica, nitratos, fosfatos, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, coliformes fecales y coliformes totales.

Para pH, temperatura y oxígeno disuelto, se realizaron mediciones in-situ debido a la variabilidad espacial y temporal del cuerpo de agua, reduciendo así errores asociados; mientras que las muestras para la evaluación del resto de parámetros fueron trasladadas al laboratorio de Calidad de Agua de la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca para su posterior análisis.

Tabla 10: Parámetros de las muestras que fueron analizados in-situ (Punto de muestreo) y ex-situ (Laboratorio de Calidad del agua)

In-situ	Ex-situ
pH	Color
Temperatura	Turbidez
	Conductividad eléctrica
Oxígeno disuelto	Nitratos
	Fosfatos
	Bacterias coliformes

Métodos y técnicas de recolección de datos mediante equipos de medición

Parámetros físicos

Temperatura

Para registrar la temperatura del agua del río Machángara, se empleó el termómetro TP101. Este dispositivo, equipado con una sonda de acero inoxidable, detecta los cambios térmicos en el agua mediante un sensor especializado. La expansión o contracción del metal en la sonda genera una señal eléctrica interpretada por el medidor digital del termómetro, lo que permite visualizar con exactitud la temperatura del agua en la pantalla (López, 2023).

Figura 6: Análisis de temperatura



Color

El análisis del color del agua se realizó mediante el dispositivo Orbeco-Hellige Lovibond AquaTester, el cual emplea la comparación visual del color del agua con patrones predefinidos utilizando un prisma de aumento. Posteriormente, se compara el color del agua en el tubo Nessler con una serie de estándares de color suministrados por el equipo (Chemistry RG, 2008).

Figura 7: Análisis de color



Turbidez

El turbidímetro Hach 2100P se empleó para determinar la turbidez del agua. Este dispositivo se fundamenta en el método nefelométrico, que se basa en el fenómeno de la dispersión de la luz. Durante este proceso, al atravesar la luz el agua, las partículas suspendidas dispersan la luz en diversas direcciones. El turbidímetro emite luz con una longitud de onda específica hacia la muestra de agua y registra la cantidad de luz dispersada por las partículas suspendidas (HACH, 2004).

Figura 8: Análisis de turbidez

Sólidos disueltos totales (SDT)

Se utilizó el equipo TDS Meter (Hold) para medir los sólidos disueltos totales (SDT), basándose en la conductividad eléctrica del agua. Cuando se sumerge en una solución acuosa, el TDS Meter (Hold) establece un circuito eléctrico entre sus electrodos. Los iones cargados presentes en los sólidos disueltos contribuyen al flujo de corriente eléctrica. El dispositivo registra esta conductividad y la muestra como una lectura en su pantalla, indicando la concentración de sólidos totales disueltos (Carollo, s. f.).

Figura 9: Análisis sólidos disueltos totales

Conductividad eléctrica

Se empleó el TDS Meter (Hold) para medir la conductividad eléctrica del agua. Este dispositivo se fundamenta en que los sólidos disueltos en el agua aumentan su capacidad de conducir electricidad. La cantidad de sólidos disueltos en el agua se correlaciona

directamente con la conductividad eléctrica medida por el TDS Meter. Por lo tanto, conforme aumenta la conductividad eléctrica registrada por el medidor, también lo hace la concentración de sólidos disueltos en la solución (Carollo, s. f.).

Figura 10: Análisis de conductividad eléctrica



Oxígeno disuelto

Se utilizó el equipo Extech DO600-K para medir el oxígeno disuelto en el agua. Funciona mediante el principio de la electroquímica, con un sensor que tiene un electrodo de membrana permeable al oxígeno y otro de referencia. Cuando el sensor se sumerge en agua, el oxígeno disuelto atraviesa la membrana y reacciona con el electrodo, generando una corriente eléctrica proporcional a la concentración de oxígeno. El medidor convierte esta corriente en una lectura de concentración de oxígeno disuelto, expresada en mg/l o ppm (Teledyne FLIR LLC, 2023).

Figura 11: Análisis de oxígeno disuelto



Parámetros químicos

Potencial de hidrógeno (pH)

Este medidor funciona al medir la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de vidrio y uno de referencia, estos se sumergen en la muestra generando un potencial eléctrico a través del electrodo de vidrio lo cual es proporcional a la concentración de iones hidrógeno, mediante el uso de un amplificador eléctrico se detecta la diferencia de potencial generada y permite la conversión de esta medición en una lectura de pH (Instruments, 2022).

Figura 12: Análisis de potencial de hidrógeno



Nitratos

El kit NitraVer 5 (0-10) mg/L se utiliza para cuantificar nitratos mediante el método de reducción de cadmio. En este proceso, los nitratos se reducen a nitritos utilizando cadmio como agente reductor en presencia de sulfato de cobre. Luego, los nitritos resultantes reaccionan con sulfonamida, una amina aromática primaria, produciendo un tinte rosa-

anaranjado. La intensidad de este color es proporcional a la concentración de nitrato en la muestra (HACH, 2019). Para medir esta concentración, se emplea el equipo DR 2800, un espectrofotómetro que envía un haz de luz a través de la muestra y mide la absorbancia, la cual está directamente relacionada con la cantidad de nitrato presente (HACH, Manualslib, 2013).

Figura 13: Análisis de nitratos



Fosfatos

Se utilizó el Espectrofotómetro DR2800 para determinar la concentración de fosfatos en la muestra de agua. Previamente al análisis, la muestra fue tratada con el kit químico PhosVer3 Phosphate (0-2.5) mg/L de Hach, el cual emplea el método del ácido ascórbico para cuantificar el fosfato presente en el agua. Este método se basa en la capacidad del ácido ascórbico para reducir el molibdato de amonio a molibdeno azul en presencia de fosfato. La intensidad del color azul formado es proporcional a la concentración de fosfato en la muestra y se mide con el espectrofotómetro, permitiendo una determinación precisa de la concentración de fosfato en el agua analizada (HACH, 2023).

Figura 14 : Análisis de fosfatos

Parámetros Microbiológicos

Coliformes fecales y coliformes totales

Se utilizó el método del Número Más Probable para la medición de coliformes totales y fecales. Este método se basa en la dilución de la muestra en tubos de ensayo que contienen un medio de cultivo adecuado para su identificación, seguido de la observación de un cambio de color rosáceo en los tubos después de un período de incubación de 24 a 48 horas a 38 grados Celsius (García, 2014).

Figura 15: Análisis de coliformes fecales y totales

Capítulo III: Resultados y discusión

A continuación, se detallan los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos registrados durante todo el proceso de muestreo en diversos sectores.

Tabla 11: Recopilación de datos. Elaboración propia.

PARÁMETROS FÍSICOS							
	Fecha	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Color (UPC)	Turbidez (NTU)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	TDS (ppm)
LM	M1	12,3	8,23	5	1	78	39
	M2	11,9	8,37	5	0,61	76	38
	M3	10	8,92	5	1,8	66	33
	M4	9,8	9,1	5	1	64	30
RCH	M1	12,5	8,15	5	1	106	53
	M2	12,1	8,32	10	1,15	100	49
	M3	10,6	8,73	15	2,7	92	46
	M4	10,1	8,81	10	2	84	40
OL	M1	14,4	7,43	20	3	120	62
	M2	13,7	7,9	25	7,2	116	58
	M3	11,6	8,44	25	3,2	114	57
	M4	10,3	8,65	20	4	94	45
PI	M1	16,9	6,9	35	13	158	80
	M2	14,5	7,68	40	11,4	152	77
	M3	13,1	8,01	35	8,2	142	71
	M4	11,3	8,52	40	8	108	54
PARÁMETROS QUÍMICOS				PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS			
	Fecha	pH	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
LM	M1	8,2	0	0	0	0	
	M2	7,3	0	0	0	0	
	M3	7,54	0	0	0	0	
	M4	7,23	0	0	0	0	
RC	M1	8,2	0	0	0	0	
H	M2	7,52	0	0	0	0	

	M3	7,6	0	0	0	0
	M4	7,65	0	0	0	0
OL	M1	7,8	0,1	0,03	4,80E+03	2,40E+03
	M2	8,15	0,6	0,72	4,80E+03	2,40E+03
	M3	7,6	0,1	0,01	4,80E+03	2,40E+03
	M4	7,34	0,2	0,03	4,80E+03	2,40E+03
PI	M1	7,22	0,3	0,01	4,80E+03	2,40E+03
	M2	7,42	0,1	0,06	4,80E+03	2,40E+03
	M3	7,42	0,1	0,06	4,80E+03	2,40E+03
	M4	8,2	0,3	0,06	4,80E+03	2,40E+03

Evaluación de los resultados frente a los estándares ambientales

La tabla 12 presenta los parámetros físico-químicos y microbiológicos en LM en los diferentes muestreos realizados. En relación al pH, los valores se encuentran dentro del rango aceptable definido por la normativa TULSMA, lo que indica un equilibrio adecuado en la acidez del agua. Los niveles de oxígeno disuelto superaron consistentemente el umbral del 80%, según lo requerido, lo cual es beneficioso para el desarrollo de la vida acuática.

Para los parámetros de turbiedad, conductividad y sólidos disueltos totales se puede evidenciar que los valores cumplen con la normativa, además de ello la apariencia visual en LM muestra agua cristalina lo cual corrobora de manera visual lo afirmado anteriormente en cuanto al aspecto turbiedad y sólidos disueltos; es importante resaltar que no se detectó la presencia de nitratos, fosfatos, coliformes totales ni fecales durante el muestreo en LM.

Tabla 12 : Parámetros registrados en Laguna Machangaracocha y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))

Laguna Machangaracocha					
Parámetros	Fecha de muestreo				Limite normativa
	19/6/2023	3/7/2023	17/7/2023	31/7/2023	
Temperatura(°C)	12,30	11,90	10,00	9,80	-
pH	8,20	7,30	7,54	7,23	6-9
Oxígeno Disuelto(mg/l)	8,23	8,37	8,92	9,10	>80%
Color	5,00	5,00	5,00	5,00	75

Turbidez (NTU)	1,00	0,61	1,80	1,00	100
Conductividad Eléctrica (us/cm)	78,00	76,00	66,00	64,00	700
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	39,00	38,00	33,00	30,00	450
Nitratos (mg/l)	0	0	0	0	50
Fosfatos (mg/l)	0	0	0	0	0,52
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	0	0	0	1100
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0	0	0	0	1000

La tabla 13 presenta los datos correspondientes al Parque Industrial, donde los parámetros físico-químicos se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normas Vigentes Ambientales. No obstante, los valores medidos para los parámetros microbiológicos de coliformes totales y fecales sobrepasan considerablemente el límite de la normativa establecida.

Tabla 13 : Parámetros registrados en Represa Chanlud y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))

Represa Chanlud					
Parámetros	Fecha de muestreo				Limite normativa
	19/6/2023	3/7/2023	17/7/2023	31/7/2023	
Temperatura(°C)	12,50	12,10	10,60	10,10	-
pH	8,20	7,52	7,60	7,65	6-9
Oxígeno Disuelto(mg/l)	8,15	8,32	8,73	8,81	>80%
Color	5,00	10,00	15,00	10,00	75

Turbidez (NTU)	1,00	1,15	2,70	2,00	100
Conductividad Eléctrica (us/cm)	106,00	100,00	92,00	84,00	700
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	53,00	49,00	46,00	40,00	450
Nitratos (mg/l)	0	0	0	0	50
Fosfatos (mg/l)	0	0	0	0	0,52
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	0	0	0	1100
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0	0	0	0	1000

En la tabla 14 referente al Sector Ochoa León, se observan parámetros que superan las normas establecidas. Se registra un incremento de 0.2 unidades en los fosfatos el día 3 de julio; este aumento podría atribuirse a la presencia de personas lavando prendas de vestir en las orillas, antes del punto de muestreo, lo cual influye directamente debido al uso de detergentes. Por otro lado, se evidencia un preocupante aumento en los niveles de coliformes fecales, superando el doble del límite permitido.

Tabla 14: Parámetros registrados en Sector Ochoa León y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))

Ochoa León					
Parámetros	Fecha de muestreo				Limite normativa
	19/6/2023	3/7/2023	17/7/2023	31/7/2023	
Temperatura(°C)	14,40	13,70	11,60	10,30	-

pH	7,8	8,15	7,60	7,34	6-9
Oxígeno Disuelto(mg/l)	7,43	7,9	8,44	8,65	>80%
Color	20,00	25,00	25,00	20,00	75
Turbidez (NTU)	3,00	7,20	3,20	4,00	100
Conductividad Eléctrica (us/cm)	120,00	116,00	114,00	94,00	700
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	62,00	58,00	57,00	45,00	450
Nitratos (mg/l)	0,10	0,60	0,10	0,20	50
Fosfatos (mg/l)	0,03	0,72	0,01	0,03	0,52
Coliformes Totales (NMP/100ml)	4800,00	4800,00	4800,00	4800,00	1100
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2400,00	2400,00	2400,00	2400,00	1000

En la tabla 15 relacionada con el Sector Parque Industrial, se observa un exceso en los parámetros de coliformes fecales y totales, lo que indica niveles elevados de contaminación. Sin embargo, es importante destacar que el resto de parámetros se encuentran dentro de los valores expresados en la normativa.

Tabla 15: Parámetros registrados en Sector Parque industrial y límites máximos establecidos en normativas (TULSMA libro VI Anexo 1 (amarillo), Norma Colombiana resolución 2115-2007 (azul), INEN 1108-2020 (rosa))

Parque Industrial

Parámetros	Fecha de muestreo				Limite normativa
	19/6/2023	3/7/2023	17/7/2023	31/7/2023	
Temperatura(°C)	16,90	14,50	13,10	11,30	-
pH	7,22	7,42	7,42	8,20	6-9
Oxígeno Disuelto(mg/l)	6,9	7,68	8,01	8,52	>80%
Color	35,00	40,00	35,00	40,00	75
Turbidez (NTU)	13,00	11,40	8,20	8,00	100
Conductividad Eléctrica (us/cm)	158,00	152,00	142,00	108,00	700
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	80,00	77,00	71,00	54,00	450
Nitratos (mg/l)	0,3	0,10	0,30	0,30	50
Fosfatos (mg/l)	0,01	0,06	0,06	0,06	0,52
Coliformes Totales (NMP/100ml)	4800,00	4800,00	4800,00	4800,00	1100
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2400,00	2400,00	2400,00	2400,00	1000

Índice de calidad

A continuación, se detallan los resultados obtenidos referentes al índice de calidad:

Tabla 16: ICA obtenido en el estudio de manera global y sectorizada

Fecha	Laguna Machangaracocha	Represa Chanlud	Ochoa León	Parque Industrial	ICA promedio
-------	------------------------	-----------------	------------	-------------------	--------------

					de la cuenca
19/6/2023	92,87	92,04	58,41	57,06	75,10
3/7/2023	93,53	92,29	52,28	58,09	74,05
17/7/2023	93,82	92,18	60,13	58,66	76,20
31/7/2023	94,17	92,69	60,82	58,19	76,47
ICA Sector	93,60	92,30	57,91	58,00	75,45

Durante el período de muestreo de dos meses, con intervalos de 15 días, el Índice de Calidad del Agua (ICA) promedio en la Laguna Machangaracocha y Represa Chanlud registrado fue de 93,60 y 92,30 respectivamente, lo cual se clasifica como "no contaminada" como se divide en la tabla 7. Estos valores reflejan una calidad de agua excepcionalmente elevada en esta área, lo que la hace óptima para albergar una amplia variedad de organismos acuáticos y sostener ecosistemas saludables. Es importante destacar que, dada su calidad superior, no se requieren procesos adicionales de purificación para su uso y consumo según los parámetros evaluados SEMARNAT (2019).

En el sector Ochoa León, el promedio del Índice de Calidad del Agua fue de 57,91, mientras que en el Parque Industrial registró un valor de 58,0. Estos resultados los sitúan en el criterio de "poca contaminación". Si bien estos valores son aceptables, según la clasificación del SEMARNAT en la tabla 7, no son aguas recomendables para actividades de recreación debido a la necesidad de tratamiento que sugieren. Es esencial tener en cuenta que, aunque la contaminación es baja, todavía existe margen para mejorar la calidad del agua y hacerla segura para diversos usos.

En relación al ICA obtenido a lo largo de la cuenca del río Machángara, durante los diferentes periodos de muestreo en los puntos LM, RCH, OL y PI, se observa que el valor promedio fue de 75,45 por lo tanto, según SEMARNAT en la tabla 7 este río puede considerarse como "aceptable" en términos de calidad del agua. Respecto a actividades recreativas en el agua, el río es apto para cualquier tipo de deporte acuático. Asimismo, se considera adecuado para mantener la vida de los organismos acuáticos. Sin embargo, para su uso en procesos agrícolas e industriales, se recomienda un tratamiento adicional.

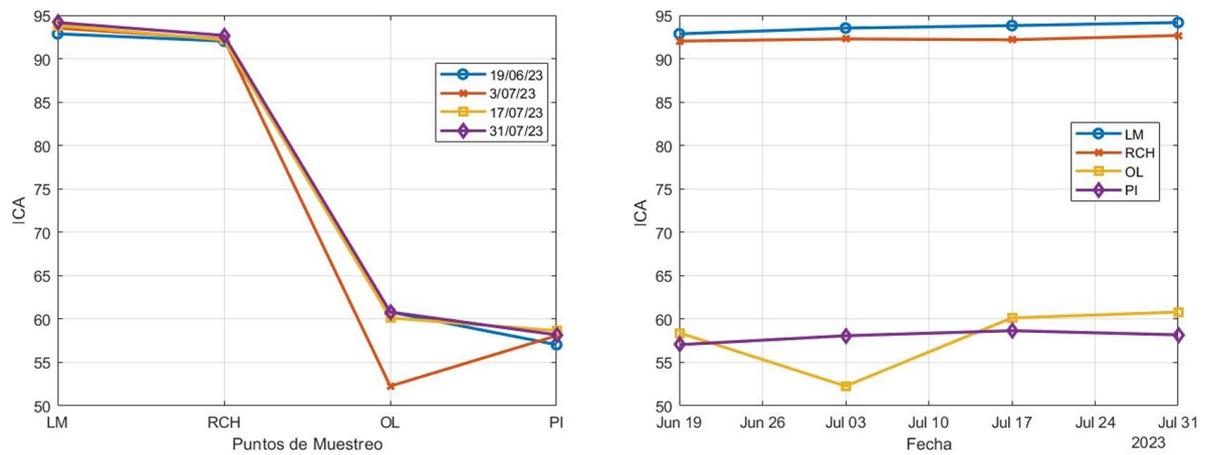
Según la investigación realizada por Pauta-Calle et al. (2019) la variación de la calidad del río Machángara en la parte media y baja es muy pequeña lo que indica que no hay influencia

significativa de las condiciones climáticas debido a la regulación del caudal en la represa Chanlud. Además, se identificó que el río Machángara presenta el ICA más alto en comparación con el río Tomebamba, Yanuncay y Tarqui durante el periodo de análisis, en el cual los parámetros fisicoquímicos se realizaron en la parte media (Chiquintad) y baja (Parque Industrial) de la cuenca del Machángara con datos del 2012 hasta el 2015. Los resultados mostraron que el color esta correlacionado con la turbidez con valores relativamente bajos, la concentración de nitratos fue de 2.52 mg/l, la cantidad de fósforo fue de 0.358 mg/l, lo que indica el poco arrastre de nutrientes de actividades agrícolas y ganaderas; En el caso del río Machángara, se observa una relación directa entre la turbidez y el color del agua; es decir, a medida que aumenta la turbidez, también aumenta el color registrado. Además, los valores medidos para estos parámetros cumplen con los estándares establecidos por la normativa vigente. En cuanto a los niveles de nitratos y fosfatos, el máximo registrado en este estudio fue de 0,6 mg/l y 0,72 mg/l, respectivamente. Es importante destacar que el nivel de fosfatos excede el límite máximo permitido según la normativa en una sola ocasión durante el muestreo 3.

En un estudio realizado en los ríos de Manabí por Quiroz et al. (2017) para evaluar la calidad del agua se determinaron que esta decrece cuando la turbidez y los sólidos disueltos aumentan y el OD disminuye. Estos resultados concuerdan con los encontrados para el río Machángara en esta investigación, puesto que, en la parte alta existe mayor OD, y menor CE y TDS con una calidad de agua excelente, mientras que, en la parte baja ocurre lo contrario.

Una investigación realizada por Guananga et al. (2022) en el río Guano ubicado en el altiplano entre las provincias de Chimborazo y Tungurahua determinaron que la calidad del agua estaba influenciada por las actividades humanas y las condiciones naturales (pendientes, clima) del lugar de estudio. Se identificó que en la parte alta el caudal era pequeño con un ICA alto (aceptable), mientras que desde la parte media de la microcuenca el caudal aumentó y el ICA disminuyó a ligeramente contaminada debido a las actividades agrícolas y descargas de aguas residuales. Del mismo modo, en la cuenca del río Machángara se ha observado que la presencia de aguas residuales, provenientes de actividades ganaderas, agrícolas y domésticas, ha alterado la calidad del agua, especialmente en el sector Ochoa León el 3 de Julio, reportando un ICA de 52,28, según SEMARNAT dicho valor corresponde a la clasificación de poco contaminado.

Figura 16: Representación gráfica ICA, izquierda global de la cuenca, derecha referente al sector. Elaboración propia



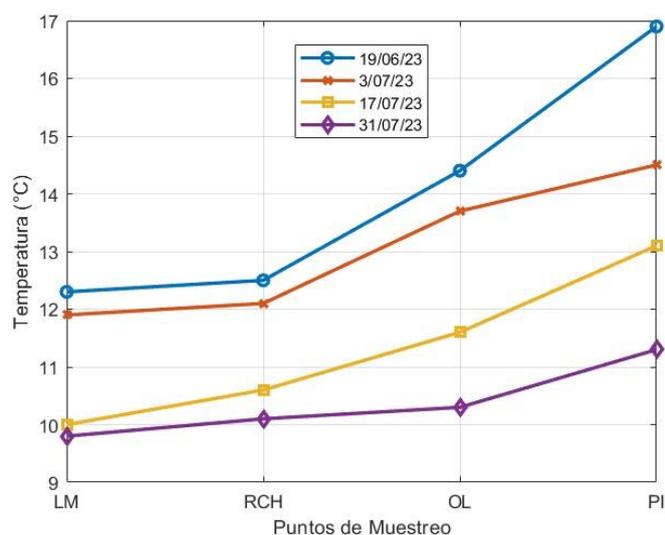
La figura 16 muestra una representación de la variación en la calidad del agua a lo largo de toda la cuenca. En el recuadro de la izquierda, se aprecia como el ICA disminuye significativamente desde la fuente hasta las áreas de contacto humano e industrial. Por otro lado, en la parte derecha de la figura, en los sectores LM y RCH, los valores del ICA se mantienen cercanos entre sí con valores no menores a 90. Sin embargo, al comparar con los sectores OL y PI, se nota una diferencia en el ICA el 3 de julio de 2023, fecha en la que se registró un valor alto en fosfatos, afectando directamente al índice.

Variación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Parámetros físicos

Temperatura

Figura 17: Temperatura en función del punto de muestreo y fecha. Elaboración propia



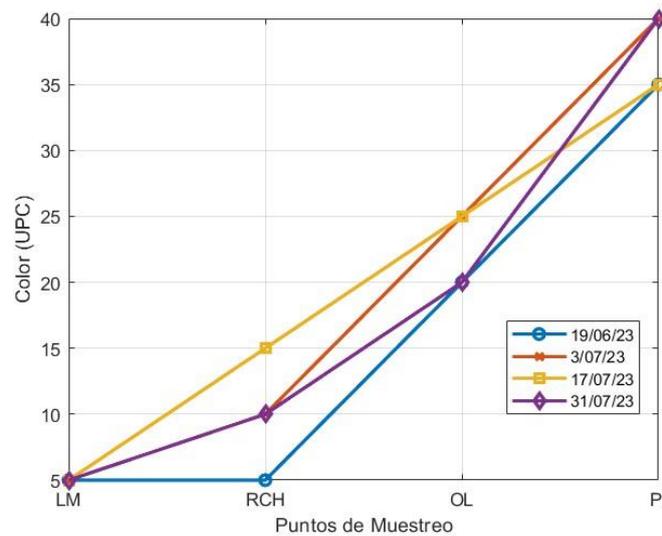
En la figura 17 en cada recolección de muestras, se ha observado una tendencia ascendente en la temperatura. Durante el muestreo del 19 de junio de 2023, se registraron los valores más elevados de temperatura a lo largo de toda la cuenca. Sin embargo, en los muestreos posteriores, se ha identificado una disminución gradual en estos valores, alcanzando su punto más bajo el 31 de julio de 2023. A lo largo de todos los muestreos, se ha constatado que la temperatura más baja individualmente se encuentra en LM, con un mínimo registrado de 9.80°C, mientras que la temperatura más alta individualmente se ha reportado en PI, alcanzando los 16.90°C. Este patrón se repite en cada muestreo, con PI siendo consistentemente el punto con la temperatura más alta.

La investigación llevada a cabo por Cajas Sinchiguano y Córdova Mosquera (2023) sobre la calidad del agua en el río Cutuchi, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos en Latacunga, Ecuador, revela una correlación entre la variación de la temperatura y la altitud de cada punto de monitoreo. Se ha observado que las temperaturas disminuyen a medida que aumenta la altitud y viceversa. Además, el estudio señala que las zonas de menor latitud, donde ya hay presencia humana y descargas de aguas residuales, exhiben un incremento en la temperatura; esta tendencia se corrobora en los resultados del presente estudio, donde se registran temperaturas más bajas en LM y RCH, ubicados a mayor altitud, en comparación con OL y PI, situados a menor altitud y donde también se identifican asentamientos humanos

y descargas de aguas residuales, coincidiendo con las conclusiones de la investigación mencionada anteriormente.

Color

Figura 18: Evaluación del color. Elaboración propia

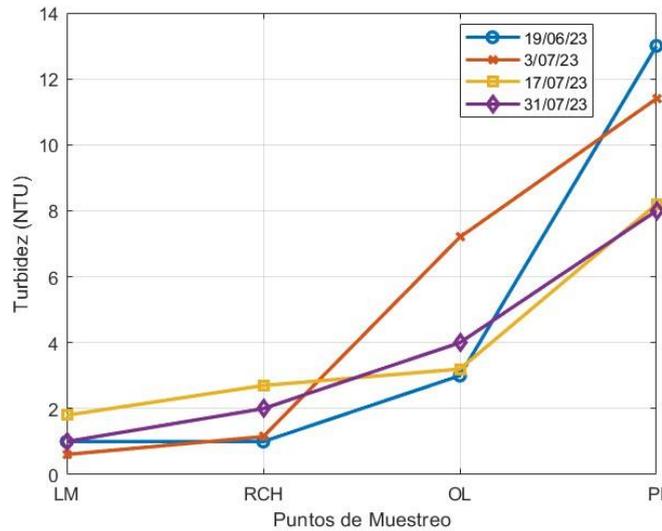


En la figura 18, se evidencian variaciones en el color del agua a lo largo del río Machángara, perceptibles en diferentes ubicaciones y momentos temporales. Desde la Laguna Machangaracocha hasta el Sector Parque Industrial, se observa que el color del agua tiende a oscurecerse. La Laguna Machangaracocha mantiene un color constante de 5 UPC en todas las mediciones, mientras que en la Represa Chanlund, se presentan variaciones que oscilan entre 5 UPC, 10 UPC y 15 UPC. En el Sector Ochoa León, el color varía entre 20 UPC y 25 UPC, y en el Sector Parque Industrial, entre 35 UPC y 40 UPC. Estas fluctuaciones en los sectores de Ochoa León y Parque Industrial están influenciadas por factores como la acumulación de sedimentación, la agricultura y la actividad industrial.

Según la investigación llevada a cabo por Jerves y colaboradores (2022), se destaca que el cambio visible en el color del agua sirve como indicador principal de las descargas no tratadas provenientes de actividades humanas. En áreas pobladas e industriales, estos valores oscilan entre 51 UPC y 70 UPC. Los hallazgos de este estudio respaldan los datos recolectados en los sectores OL y PI, donde prevalece la actividad humana y procesos industriales, alcanzando entre 35 UPC y 40 UPC. En contraste, en LM y RCH, áreas protegidas, el color del agua se mantiene constante en 5 UPC.

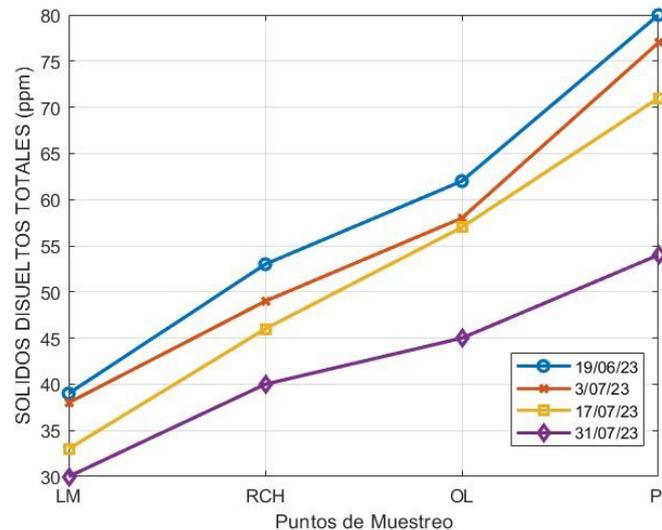
Turbidez

Figura 19: Evaluación de la turbidez. Elaboración propia



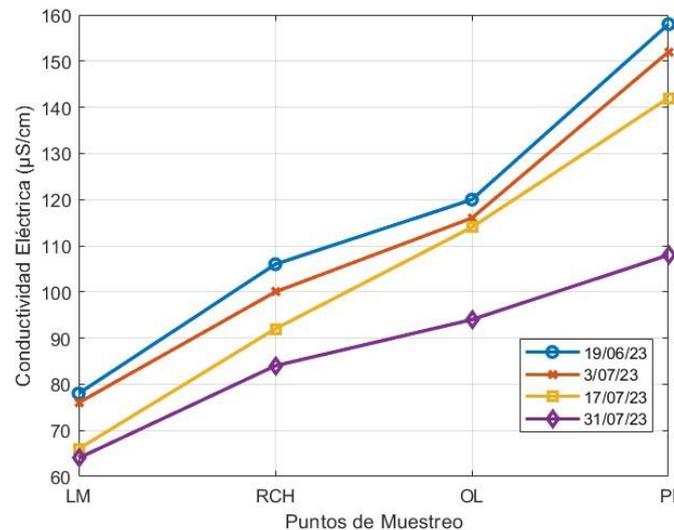
El monitoreo de la turbidez en el río Machángara, como se muestra en la figura 19, revela fluctuaciones notables en varias ubicaciones y períodos de tiempo. Esta medida, que indica la cantidad de partículas suspendidas en el agua, exhibe variaciones significativas a lo largo del río. Desde la Laguna Machangaracocha, donde la turbidez varía entre 0.61 NTU y 1.8 NTU, hasta la Represa Chanlund, con fluctuaciones entre 1.15 NTU y 2.7 NTU, se observan diferencias notables. El Sector Ochoa León presenta una variación de 3 NTU a 7.2 NTU, mientras que, en el Sector Parque Industrial, la turbidez se sitúa entre 8 NTU y 13 NTU.

Según investigaciones realizadas por (Aveiga Ortiz et al., 2019), se observó un aumento en los valores de turbidez del agua a medida que el curso del agua se dirigía desde el embalse, que se encuentra en una posición más alta, hacia la subcuenca. Estos resultados, que están vinculados con el muestreo realizado en el río Machángara, donde la turbidez a lo largo de su trayecto hasta llegar al sector Parque Industrial fue significativamente mayor. Además, es importante considerar que el aumento en la concentración de sólidos suspendidos influirá directamente en la turbidez del agua.

Sólidos disueltos totales (SDT)**Figura 20:** Evaluación de sólidos disueltos totales. Elaboración propia

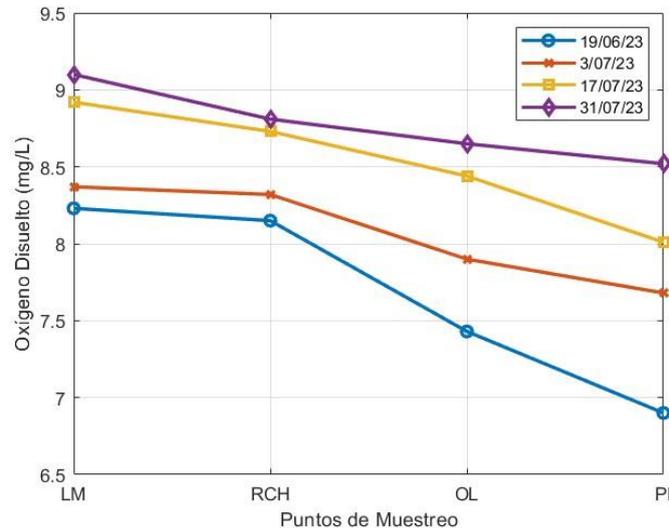
La figura 20 muestra cómo los sólidos disueltos totales (SDT) aumentan gradualmente a medida que avanza el muestreo. El valor mínimo registrado, 30 ppm en LM el 31 de julio, contrasta con el valor máximo de 80 ppm en PI el 19 de junio. Esta tendencia de los SDT es semejante a lo observado en la figura 17 correspondiente a temperatura. Por lo tanto, la temperatura influye en los SDT, ya que un aumento en la temperatura puede afectar la solubilidad de las sustancias. Este efecto se observa cuando la energía requerida para disolver un sólido supera la energía liberada durante la disolución, lo que resulta en una reacción endotérmica. Por ende, el aumento de temperatura suministra la energía adicional necesaria para romper los enlaces en el sólido, aumentando así su solubilidad (Shoukat et al., 2020).

Según Yumbo et al. (2018), el agua puede contener partículas en suspensión y compuestos solubilizados, ambos definidos como sólidos disueltos totales. Una alta concentración de estos sólidos puede causar turbidez en cursos naturales de agua, lo que impide la penetración de la luz y afecta la flora y fauna. En la investigación sobre la calidad del agua en el río Paján, Manabí, Ecuador, los niveles de sólidos disueltos alcanzaron valores promedio de 1429 a 1528 mg/l, indicando altas concentraciones de partículas suspendidas en el río Paján. Estos sólidos disueltos totales son una variable crucial que influye en el gradiente ambiental y está estrechamente relacionada tanto con la contaminación natural como con la causada por actividades humanas.

Conductividad eléctrica (CE)**Figura 21:** Evaluación de la conductividad eléctrica. Elaboración propia

En la figura 21, se observa una variación notable en la conductividad eléctrica a lo largo del río Machángara, evidenciando cambios significativos en diversas ubicaciones y momentos temporales. Desde la Laguna Machangaracocha hasta el Sector Parque Industrial, se aprecia una clara tendencia al aumento de la conductividad eléctrica. En la Laguna Machangaracocha (zona alta), los valores oscilan entre 64 $\mu\text{S/cm}$ y 78 $\mu\text{S/cm}$, mientras que en el Sector Parque Industrial (zona baja), se registran valores de 108 $\mu\text{S/cm}$ y 158 $\mu\text{S/cm}$, estas variaciones están influenciadas por factores ambientales y actividades antropogénicas a lo largo del cauce del río.

Según la investigación realizada por Ferrer-Sánchez et al. (2024), se ha observado un aumento gradual en la conductividad eléctrica conforme los puntos de muestreo se acercan a las zonas urbanas. Este incremento se atribuye principalmente al mayor contenido de compuestos disueltos, entre los que se incluye la materia orgánica incorporada. Basándose en esto, se evidencia que durante el muestreo en el río Machángara, en general, se observa un aumento en la conductividad eléctrica aguas abajo, lo que indica una disminución en la calidad del agua del río Machángara.

Oxígeno disuelto (OD)**Figura 22:** Evaluación de oxígeno disuelto. Elaboración propia

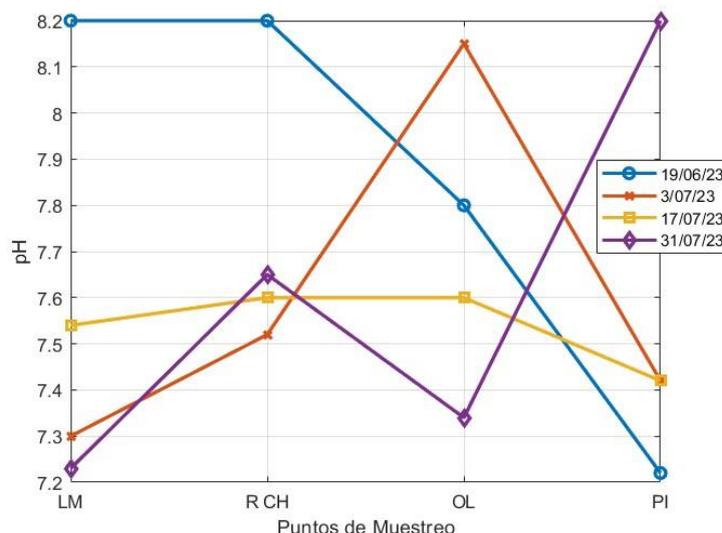
La figura 22 muestra una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto (OD) a medida que avanza el muestreo, un patrón que se repite en todas las fechas registradas. El valor más alto fue el día 31 de julio, con un OD de 9,1 mg/l a una temperatura de 9,80°C, mientras que el valor mínimo registrado fue de 6,9 mg/l el día 19 de junio a una temperatura de 16,90°C. Se considera que la temperatura es una variable directamente relacionada con este parámetro, ya que el OD tiende a incrementar a menor temperatura y viceversa, como se demuestra en este análisis.

En un estudio realizado en México al Lago Chalapa tuvieron como objetivo estimar los efectos del cambio climático en la primera mitad del siglo XXI sobre las concentraciones de OD en el sitio. Los resultados indicaron que la concentración de OD disminuirá con los años debido al efecto de la temperatura (Durán, Flores, Mora, & Ruiz, 2011). Además, en Ecuador, se realizó un estudio en 15 bofedales andinos de Chimborazo, Bolívar y Tungurahua, concluyó que el OD es el indicador principal para determinar la buena calidad del agua, con concentraciones ideales entre 6 y 7 mg/l (Carrasco et al. 2023). En una investigación realizada en la ciudad de Cuenca Ecuador en el río Machángara fue el que menos variación de OD llega a presentar de los cuatro ríos que circulan en la ciudad, además de ello asevera que en todos los ríos estudiados los niveles de OD fueron más altos de lo que se esperaba a esa temperatura específica estando ellos por encima de la saturación, concluyendo así que existe suficiente oxígeno para la vida acuática y los procesos biológicos (Pauta, y otros, 2019) .

Parámetros Químicos

Potencial de hidrógeno (pH)

Figura 23: Evaluación de potencial de hidrógeno. Elaboración propia



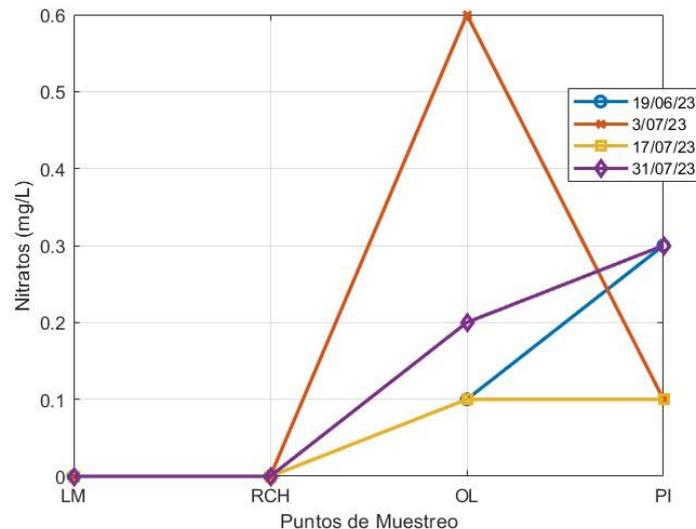
En la figura 23 se representa el pH a lo largo de la cuenca del río Machángara. En la Laguna Machangaracocha, los valores se mantienen en un rango de 7,3 a 8,2. En la Represa Chanlund, los valores de pH oscilan entre 7,52 y 8,2, mientras que en el Sector Ochoa León se observa una variabilidad más pronunciada, con valores entre 7,34 y 8,15. Es relevante señalar que el día 3 de julio, cuando se registra un pH de 8,15, se evidencia la actividad de lavado de ropa por parte de las personas locales de la zona. No obstante, es en el Sector Parque Industrial donde se destaca la mayor variabilidad en los valores de pH, fluctuando entre 7,22 y 8,2. Cabe señalar que, todos los valores de pH registrados se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULSMA, lo que indica que las aguas del río Machángara son ligeramente alcalinas.

Según Garcés Alvear (2021), es importante destacar que el pH del agua se ve influenciado por actividades antropogénicas. Muchas de estas actividades muestran una mayor incidencia durante ciertas horas del día. Durante la mañana, las mediciones revelan valores constantes y bajos, dentro de los límites permitidos. Sin embargo, durante las horas de la tarde, cuando la actividad industrial, doméstica y comercial alcanza su punto máximo, estas mediciones pueden exceder los límites permisibles, especialmente en las áreas cercanas al río. En comparación de los datos recopilados durante el muestreo revela claramente que la variación del pH está estrechamente relacionada con las actividades antropogénicas del sector Ochoa León. Aquí, los habitantes tienen la costumbre de realizar lavados en el río, y se observa la presencia de ganadería. De manera similar, esta influencia se evidencia en el área del Parque

Industrial, donde se llevan a cabo una variedad de procesos industriales.

Nitratos

Figura 24: Evaluación de nitratos. Elaboración propia



Como se muestra en la figura 24, los nitratos no son detectables en LM y RCH; sin embargo, comienzan a detectarse en OL y PI en todas las fechas registradas. El máximo registrado fue el 3 de julio, con un valor de 0.6 mg/l en OL, mientras que el mínimo fue de 0.1 mg/l el 19 de junio, también en OL. Se observó el mismo valor tanto en PI como en OL el 3 de julio y el 17 de julio, respectivamente. Es importante destacar que ninguno de estos valores supera el límite establecido de 50 mg/l según la normativa.

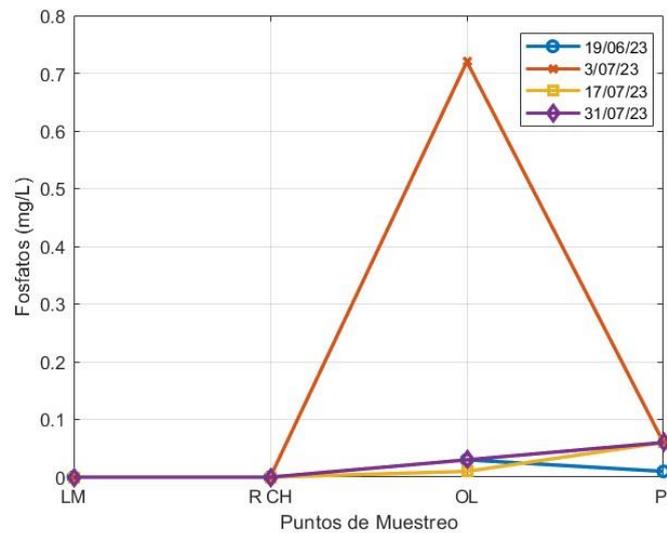
En la ciudad de Cuenca, Ecuador, se ha examinado la calidad del agua en los ríos locales. Según Pauta et al. (2019), en el río Machángara no se han detectado niveles elevados de nitratos, a diferencia del río Tomebamba, que muestra concentraciones más altas en este aspecto.

En un estudio realizado en la microcuenca del río Cutuchi, parte de Pastaza, se monitorearon las concentraciones de nitrato según los datos registrados por la Universidad Técnica de Cotopaxi de septiembre a julio de 2011, y en la base de datos de la Universidad Internacional SEK correspondientes a octubre de 2017 a abril de 2018. El rango de nitratos varió desde 0.77 a 7.02 mg/l en el primer conjunto de datos, mientras que, en el segundo, el rango estudiado comprendió desde 0.06 a 0.34 mg/l. Este estudio observó que los sectores con mayor concentración de nitrato correspondían a áreas cercanas a descargas de aglomerados Cotopaxi y fábricas de papel, así como una hacienda de cultivos, aguas servidas y

asentamientos de población (Barbara, 2018). Estos datos coinciden con los obtenidos en este análisis en los sectores PI y OL.

Fosfatos

Figura 25: Evaluación de fosfatos. Elaboración propia



En la figura 25, no se registran fosfatos en LM y RCH. El valor más alto registrado es de 0.72 mg/l el día 3 de julio en OL. Este valor registrado excede el límite establecido por la normativa.

Según un estudio realizado en el río Portoviejo, Ecuador, los niveles de nitrato y fosfato están influenciados por diversos contaminantes presentes en el entorno. Los fosfatos registrados oscilan entre 0.71 y 2.36 mg/l, y entre los factores contribuyentes se incluyen el uso de pesticidas, fertilizantes, así como los desechos de lavanderías y lubricadoras. Además, se ha constatado que estos contaminantes afectan negativamente ICA a lo largo de la cuenca del río. Se destaca que el departamento ambiental de Portoviejo ha tomado medidas, incluyendo el cierre de 28 descargas clandestinas, para abordar esta problemática de contaminación, que se agrava en la zona (Intriago & Quiroz, 2021).

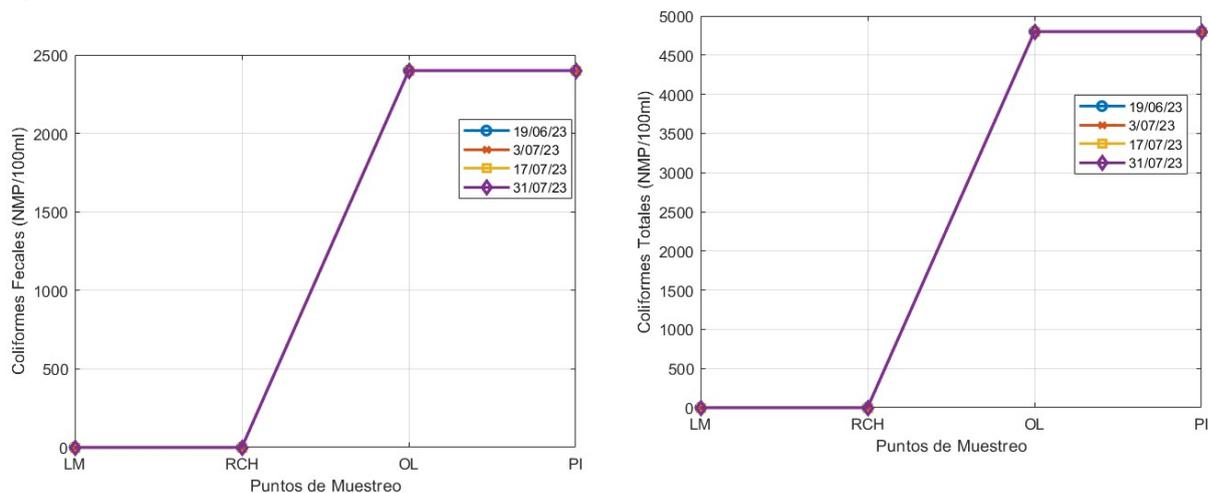
En una investigación sobre el trifosfato pentasódico (TPP), un componente habitual de los detergentes se determinó que esta sustancia tiene una marcada afinidad por los iones metálicos con carga positiva, como el calcio, hierro y manganeso, formando complejos solubles. Esta propiedad facilita el proceso de lavado, ofreciendo ventajas como un costo reducido y una mayor eficacia en la limpieza. Sin embargo, durante el lavado, parte del TPP puede convertirse en fosfatos, lo que ocurre en diferentes proporciones, desde un 0% hasta un 30%, y estos fosfatos pueden terminar en las aguas residuales domésticas. Otro proceso implica la permanencia del TPP en el agua residual, donde puede hidrolizarse en un 80% en

solo 40 horas. Esta liberación de fosfatos en las aguas naturales puede provocar diversos efectos adversos en el medio ambiente. Entre estos efectos se incluyen un aumento en la actividad bacteriana, una reducción o ausencia de la vida acuática y problemas de sabor y olor en el agua (González, 2005).

Parámetros microbiológicos

Coliformes fecales y totales

Figura 26: Evaluación de coliformes totales y fecales. Elaboración propia



Como se puede observar en la figura 26, en los sectores LM y RCH no se registraron valores. En cambio, en los sectores OL y PI, los coliformes fecales alcanzan niveles de 2400 NMP/100ml y los coliformes totales de 4800 NMP/100ml en todas las fechas de muestreo. Estos valores son significativamente superiores al máximo establecido por la normativa, lo que indica que, basándose exclusivamente en este parámetro, el agua no puede ser utilizada para consumo humano, uso doméstico o riego, y tampoco asegura la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, según el Libro 1 del TULSMA. En un estudio realizado en la ciudad de Quito, Ecuador, en los ríos Machángara y Monjas, se afirma que los niveles de contaminación por coliformes fecales son sumamente altos. Este estudio atribuye el incumplimiento de la normativa ambiental justamente basándose en la falta de regulación por parte de las instituciones en cuanto a los vertidos en los ríos. Se constató que el 50% de las personas o instituciones generadoras de desechos no cumplen con la normativa (Campaña & Gualoto, 2015).

Para respaldar adecuadamente las recomendaciones, se realizó una detallada observación y monitoreo del entorno. Durante este proceso, se identificaron prácticas como el lavado en las orillas del río y el vertido de aceites. También se constató la falta de señalización que fomente la conservación del agua, así como la carencia de letreros que adviertan sobre la prohibición de lavar prendas y verter sustancias sin tratar previamente. Es crucial la elaboración de

informes públicos al respecto, por lo que las recomendaciones se centran en solicitar a las autoridades pertinentes establecer procesos de registro que aborden la calidad del agua, pudiendo incluir la creación de bitácoras mensuales o anuales como una opción viable. Además, se destaca la importancia de educar a la población, especialmente a aquellos que residen en las zonas cercanas a los ríos, para evitar que normalicen o permitan comportamientos que puedan perjudicar el entorno fluvial y sus alrededores.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La recolección de muestras se llevó a cabo de manera sistemática en los sectores LM, RCH, OL y PI conforme a la norma NTE INEN 2176:2013. El acceso a estos sectores se realizó de diversas maneras debido a sus particularidades: los dos primeros forman parte de áreas protegidas y requirieron el acompañamiento de un guardabosque y el uso de caballos para su acceso, mientras que para los sectores OL y PI se permitió el acceso a pie, seleccionando cuidadosamente las zonas seguras para la toma de muestras, según la norma NTE INEN 2169:2013.

La evaluación de la calidad del río Machángara se basó en el uso de índices de calidad individuales que analizan cada parámetro y se ponderó según las normativas establecidas. En este estudio, se observó que los sectores LM y RCH presentan ICA considerado como "no contaminado", mientras que para los sectores OL y PI se obtiene una clasificación de "poco contaminada". Sin embargo, al analizar la cuenca en su totalidad, se concluye que el agua del río Machángara alcanza una calidad "aceptable", considerando todos los sectores en conjunto.

En relación con las normativas aplicadas, se observa que la mayoría de los parámetros analizados en todos los muestreos cumplen con los estándares establecidos por el TULSMA y normativas complementarias. Sin embargo, se detectó una excepción durante el muestreo realizado el día 3 de julio en el sector OL, donde se encontró un exceso en el parámetro de fosfatos. Asimismo, en todos los muestreos llevados a cabo en los sectores OL y PI, se registró un excedente en los niveles permitidos de coliformes totales y fecales durante todos los muestreos aplicados a estos sectores.

Recomendaciones

La gestión efectiva del recurso hídrico es crucial para garantizar la sostenibilidad ambiental, económica y social en nuestras comunidades. A través de un análisis exhaustivo, se han identificado áreas de oportunidad y desafíos en la gestión del agua. Las recomendaciones propuestas buscan promover prácticas eficientes, equitativas y sostenibles para asegurar la disponibilidad y calidad del agua para las generaciones presentes y futuras. Al implementar estas recomendaciones, se podrá avanzar hacia un futuro donde el recurso hídrico sea administrado de manera efectiva, asegurando un ambiente saludable y próspero, para ello se propone lo siguiente:

- Implementar programas de control y monitoreo permanente de la calidad del agua en la parte media y baja del río Machángara.
- Impulsar las prácticas sostenibles para mejorar la calidad del agua de la parte media y baja de la cuenca del río Machángara.
- Desarrollar campañas de concientización comunitaria sobre la importancia de la calidad del agua.
- Educación agrícola y ganadera para promover buenas prácticas en el sector Ochoa León.
- Reforzar la normativa ambiental y asegurar su cumplimiento en el ámbito de límites máximos permisibles.

Estas recomendaciones no solo aspiran a optimizar la utilización del agua, sino también a promover la equidad, la participación comunitaria y la conservación de los ecosistemas acuáticos. Es esencial que tanto los responsables políticos como la sociedad en su conjunto se comprometan a implementar estas recomendaciones con determinación y urgencia, garantizando así la disponibilidad y calidad del agua para las generaciones presentes y futuras.

Referencias

AGACE - Manual. (2008). www.cegesti.org. Recuperado de: <http://www.cegesti.org/agace/manual.htm>

Alan, D., & Cortez, L. (2018). Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>

Barbara, G. (agosto de 2018). Repositorio Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de Variación espacio-temporal de nitratos en la microcuenca de río Cutuchi utilizando técnicas de estimación geoestadística: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8446/1/PC-000518.pdf>

Campaña, R., & Gualoto, E. (septiembre de 2015). Repositorio Universidad Politecnica Salesiana. Obtenido de Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Mojas de la red hídrica del Distrito Metropolitano de Quito: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10617/1/UPS-QT08465.pdf>

Carchi, E. (2015). Elaboración de un balance hídrico de la Cuenca del Río Machángara. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23005>

Córdova, J. (2022, febrero 13). CONTAMINACION PARQUE INDUSTRIAL CUENCA. Recuperado de: <https://www.doccity.com/es/contaminacion-parque-industrial-cuenca/8276670/>

Chang Gómez, J. V. (2009). Índices de calidad del agua. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6147>

Curillo, D. (2017). Repositorio Institucional Universidad Politecnica Salesiana. Obtenido de Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de nitrato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14817/1/UPS-CT007273.pdf>

Díaz, C. (2015). Consejo de Cuenca del río Machángara. Elecaastro. Recuperado de: https://www.elecaastro.com.ec/jdownloads/HISTORICO%20CONSEJO%20DE%20LA%20CUENCA%20DEL%20MACHNGARA/historico_cuenca_del_ro_machngara_abril_2015.pdf

Durán, A., Flores, E., Mora, C., & Ruiz, J. (Septiembre/Octubre de 2011). Cambio climático y el impacto en la concentración de oxígeno disuelto en el Lago de Chapala. Obtenido de Scielo:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800016

ETAPA EP. (2023). Comité de Conservación de la cuenca del Machángara. Recuperado de: <https://www.etapa.net.ec/gestion-ambiental/manejo-de-las-cuencas-hidrograficas/comite/>

Fischer, R. B., & Peters, D. G. (1970). Análisis químico cuantitativo. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional.

González, A. (2005). Evaluación de la carga de fósforo al río Bogotá relacionado con el uso de detergentes en la capital.

INEN. (2000). NTE INEN 2226:2000. Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Diseño De Los Programas De Muestreo (1.a ed.). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma 2226. Quito-Ecuador

INEN. (2013). NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. (1.a ed.). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma 2169. Quito-Ecuador

INEN. (2013).. Agua. Calidad del Agua. Muestreo de técnicas de Muestreo (1.a ed.). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma 2176. Quito-Ecuador

Intriago, J., & Quiroz, L. (2021). Calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. Estrategias para mitigar la. Dialnet. Recuperado de: (No se proporcionó el enlace)

Ministerio del Ambiente. (2015). LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

Orellana, F. (2023, septiembre 23). Declaran área protegida al bosque Machángara– Tomebamba. Recuperado de: <https://ec2-44-215-200-71.compute-1.amazonaws.com/2023/09/23/area-protegida-machangara-tomebamba/>

Pauta, G., Velasco, M., Gutierrez, D., Vásquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Publicaciones Universidad de Cuenca. Recuperado de: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/2670/2074>

Quiroz, Q. F. L., Izquierdo-Kulich, E., & Menéndez Gutiérrez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. Scielo. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000300004

Ruiz, N. E. S., Escobar, Y. C., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). Recuperado de: <https://doaj.org/article/30ae5ef2867341fba8c9db4f1e682609>

Saquisilí, S. (2019). Desarrollo de un modelo estocástico para la predicción de sequías usando índices climáticos y datos de reanálisis para la subcuenca del río Machángara. Recuperado de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8895>

Sánchez, J. C. (2013). Elaboración de mapas tipo atlas de las zonas de riesgo de inundación del sector urbano de Cuenca [Tesis]. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4418>

SEMARNAT. (2019). Indicadores de calidad del agua. Recuperado de: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01yIBIC_user=dgeia_mceyIBIC_pass=dgeia_mce

Shoukat, A., Hussain, M., & Shoukat, A. (2020). Effects of Temperature on Total dissolved Solid in water.

Tinoco, J. a. G., González, C. a. P., & Merlano, J. M. D. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Universidad Jorge Tadeo Lozano. Recuperado de: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/13536>

Anexos

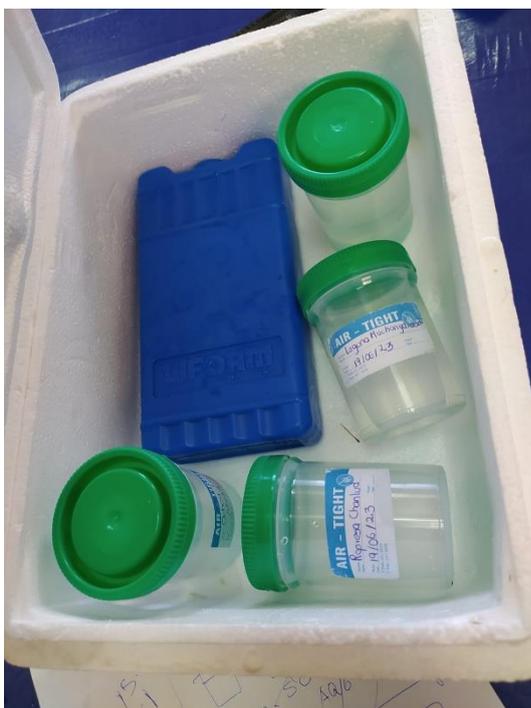
Anexo A Toma de muestras en Laguna Machangaracocha



Anexo B Derrame de aceite a la cuenca del río Sector Parque Industrial



Anexo C Preservación y transporte de muestras refrigeradas para el análisis microbiológico



Anexo D Ciudadanos lavando en las aguas del río Sector Ochoa León



Anexo E Cambio de color por zona de muestreo LM, RCH, OL y P



Anexo F Cuantificación de CF y CT en laboratorio

