

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL PARTICIPATIVA  
DE LA CALIDAD AGUA DEL RÍO COLCA, CAYLLOMA – AREQUIPA”**

**Tesis Presentada por el Bachiller.**

**HUGO RUFINO LLAMOSAS BARRIGA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO**

**MAESTRO EN CIENCIAS: CON MENCIÓN EN**

**SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

**Asesor: Dr. EDWIN FREDY BOCARDO DELGADO**

**AREQUIPA - PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a ese SER DIVINO que es DIOS; que nos permite estar presentes en este mundo.*

*Dedicado a mi mamá HILDA AGUSTINA (Mamá Charito) y a mi papá HUGO EDUARDO (Papá Lalito) a los cuales AMO con todo mi ser, por ser quienes me dieron la vida. Dedicado a todas las personas que creyeron en mí, en especial a ROSA MARIA; a mis Hijos LUZ MARINA y JULIO CESAR MANUEL; mi razón de ser.*

*A mis hermanas NADIA, PAOLA, ÚRSULA y mi sobrina Mari Isabel a las que también AMO mucho.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Todos los Docentes de la Maestría de la Escuela de Post Grado de la Universidad, que me dieron la formación, conocimientos y experiencias de aprendizaje para lograr mis objetivos.*

*Un Agradecimiento especial al Dr. Rohel Sánchez S. Ex Rector de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA, a su Esposa la Lic. Luz Marina Zeballos Patrón, a mi compañera de vida la Srta. Ing. Rosa María Olazábal Ticono; a los que siempre estaré agradecido por el Amor, apoyo y comprensión brindado de manera desinteresada a mi persona.*

*A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA, por ofrecerme una excelente educación y ser participe en mi formación profesional.*

## INDICE

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCION.....	viii
A. OBJETIVOS.....	ix
a. OBJETIVO GENERAL.....	ix
b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	ix
B. HIPÓTESIS.....	ix
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. Marco Conceptual.....	8
1.2.1. Conceptos Generales.....	8
1.2.2. Índices de Calidad de Agua.....	16
CAPITULO II.....	19
MATERIAL Y METODOS.....	19
2.1. Zona de estudio.....	19
2.2. Determinación de la red de monitoreo.....	20
2.3. Determinación de la ubicación de las estaciones de monitoreo.....	21
2.4. Parámetros fisicoquímicos evaluados.....	22
2.5. Determinación del índice simplificado de calidad de agua (ISQA).....	24
CAPITULO III.....	26
RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
3.1. Determinación de la red de monitoreo de calidad de agua en la cabecera del rio Colca.....	26
3.2. Características y ubicación de las estaciones de monitoreo propuestas.....	28
3.2.1. Estación Colca No. 1.....	29
3.2.2. Estación Colca No. 2.....	30
3.2.3. Estación Colca No. 3.....	31
3.2.4. Estación Colca No. 4.....	33
3.2.5. Estación Colca No. 5.....	35

3.2.6.	Estación Colca No. 6 .....	36
3.2.7.	Estación Colca No. 7 .....	37
3.3.	Determinación de los parámetros a monitorear .....	39
3.3.1.	Temperatura .....	40
3.3.2.	pH.....	41
3.3.3.	Conductividad .....	41
3.3.4.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	43
3.3.5.	Sólidos totales disueltos (STD).....	45
3.3.6.	Oxígeno disuelto (OD).....	46
3.4.	Aplicación del índice simplificado de calidad de agua ISQA .....	48
CONCLUSIONES .....		53
RECOMENDACIONES .....		54
BIBLIOGRAFIA.....		57

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b>	Objetivos predeterminados para la determinación de redes de monitoreo de calidad de agua en ríos .....	20
<b>Tabla N° 2:</b>	Componentes y cálculos de Índice Simplificado de Calidad de Aguas ISQA.....	24
<b>Tabla N° 3:</b>	Escala de valores y calificaciones del indicador de calidad de aguas.....	25
<b>Tabla N° 4:</b>	Ubicación y características de las estaciones de monitoreo para calidad de agua propuestas.....	28
<b>Tabla N° 5:</b>	Valores de temperatura tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca.....	40
<b>Tabla N° 6:</b>	Valores de pH tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca .....	41
<b>Tabla N° 7:</b>	Valores de conductividad tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca.....	42
<b>Tabla N° 8:</b>	Valores de demanda química de oxígeno (DQO) tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca .....	43
<b>Tabla N° 9:</b>	Valores de sólidos totales disueltos (STD) tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca .....	45
<b>Tabla N° 10:</b>	Valores de oxígeno disuelto (OD) tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca .....	47
<b>Tabla N° 11:</b>	Componentes y cálculos de Índice Simplificado de Calidad de Aguas ISQA .....	49
<b>Tabla N° 12:</b>	Escala de valores y calificaciones del indicador de calidad de aguas.....	50
<b>Tabla N° 13:</b>	Índices simplificados de calidad de Agua para cada estación de Monitoreo .....	50

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura No. 1:</b> imagen de la zona considerada en el estudio.....	19
<b>Figura No. 2:</b> Representación del sistema de Horton .....	21
<b>Figura No. 3:</b> Multiparámetro YSI usado para la medición de calidad de agua.....	23
<b>Figura No. 4:</b> Viales LCK 114 marca HACH y lectura al espectrofotómetro .....	23
<b>Figura No. 5:</b> Imagen de la zona de embalse de Tuti, donde se deriva el agua del río Colca a las irrigaciones de la región Arequipa .....	27
<b>Figura No. 6:</b> Imagen de la zona considerada para la red de monitoreo propuesta .....	28
<b>Figura No. 7:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 1 .....	29
<b>Figura No. 8:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 2 .....	30
<b>Figura No. 9:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 2 con respecto a la población de Callalli .....	31
<b>Figura No. 10:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 3 con respecto botadero de residuos sólidos de la población de Sibayo .....	32
<b>Figura No. 11:</b> Vista del botadero de residuos sólidos de la población de Sibayo.....	32
<b>Figura No. 12:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 4 donde se observan las quebradas como sub dominios .....	34
<b>Figura No. 13:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 4.....	34
<b>Figura No. 14:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 5.....	35
<b>Figura No. 15:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 6.....	36
<b>Figura No. 16:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 6.....	37
<b>Figura No. 17:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 7 mostrando los sub dominios .....	38
<b>Figura No. 18:</b> Vista de la estación de monitoreo Colca No. 7.....	39
<b>Figura No. 19:</b> Valores de conductividad tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA.....	42
<b>Figura No. 20:</b> Valores de demanda química de oxígeno tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA .....	44
<b>Figura No. 21:</b> Valores de solidos totales disueltos tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA.....	46
<b>Figura No. 22:</b> Valores de oxígeno disuelto tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA.....	48
<b>Figura No. 23:</b> Índices simplificados de calidad de Agua para cada estación de Monitoreo; los colores representan la calificación .....	51

## RESUMEN

Se propuso desarrollar un sistema de vigilancia participativa de calidad de agua del río Colca; Caylloma–Arequipa; para lo cual se tuvo que establecer una red de monitoreo y aplicar índices de calidad de agua que hicieran más fácil la interpretación de los valores resultantes de la utilización de la red de monitoreo; se plantearon objetivos para la red de monitoreo los cuales fueron: establecer un sistema de información para el manejo recursos hídricos, y tener un sistema de alerta temprana para evaluar la contaminación ambiental en la corriente de agua; se determinaron siete estaciones de monitoreo, de las cuales dos corresponden a los extremos superiores de la cuenca una hacia el río Pulpera y el otro hacia el río Colca, aguas arriba del distrito de Sibayo; por otro lado, se llevaron a cabo mediciones de parámetros en la siete estaciones de monitoreo determinadas, las cuales fueron: temperatura, pH, conductividad, demanda química de oxígeno, sólidos totales en suspensión y oxígeno disuelto; las mediciones de los parámetros se llevaron a cabo en el año 2019 y 2021; con los valores resultantes se aplicó el índice simplificado de calidad de agua (ISQA), resultando que las estaciones de mayor altura en el río Pulpera y Colca tuvo una calificación de calidad buena; mientras que la estación denominada Colca No. 2 y la Colca No. 5 tuvieron una calificación de calidad regular; el resto de las estaciones de monitoreo son calificadas como mala calidad de agua.

**Palabras Claves:** *red de monitoreo, índice simplificado de calidad de agua, río Colca.*

## ABSTRACT

It was proposed to develop a participatory monitoring system for water quality in the Colca River; Caylloma-Arequipa; for which it was necessary to establish a monitoring network and apply water quality indexes that would make it easier to interpret the values resulting from the use of the monitoring network; objectives were set for the monitoring network which were: establish an information system for water resource management, and have an early warning system to evaluate environmental pollution in the water stream; seven monitoring stations were determined, of which two correspond to the upper ends of the basin one towards the Pulpera River and the other towards the Colca River, upstream of the district of Sibayo; on the other hand, measurements of parameters were carried out in the seven monitoring stations determined, which were: Temperature, pH, conductivity, chemical oxygen demand, total suspended solids and dissolved oxygen; the measurements of the parameters were carried out in 2019 and 2021; with the resulting values the simplified water quality index (ISQA) was applied, resulting that the highest stations in the Pulpera and Colca river had a good quality rating; while the station called Colca No. 2 and Colca No. 5 had a regular quality rating; the rest of the monitoring stations are rated as poor water quality.

**Keywords:** *monitoring network, simplified water quality index, Colca river*

## INTRODUCCION

El incesante crecimiento poblacional de los humanos en este planeta, trae como consecuencia, el agotamiento o modificación de determinados recursos naturales, entre otros factores; dentro de estos recursos naturales tenemos al agua dulce, de la que la supervivencia depende, no sólo la de los humanos, sino de otras formas de vida que permiten el desarrollo adecuado de las poblaciones; conocer el estado en el cual se encuentra este recurso natural sobre todo a nivel de ríos resulta fundamental para poder prevenir y tener señales de alerta temprana respecto a los problemas que se puedan presentar sobre el mencionado sobre este recurso; sin embargo, muchas veces el conocimiento de determinados parámetros fisicoquímicos que permiten determinar la calidad del agua no son entendibles o resultan confusos para determinados miembros de la sociedad; es por ello que resulta fundamental en primer lugar tener un sistema de vigilancia para la calidad de agua en ríos, y en segundo lugar que la información que surja a partir de este sistema de vigilancia pueda ser fácilmente entendible por los diferentes grupos sociales que hacen uso de este recurso.

Dentro de los ríos de la región de Arequipa, el río Colca tiene importancia especial, ya que a partir de obras hidráulicas el agua de este río se deriva hacia diferentes irrigaciones en la región Arequipa, la calidad del agua en la zona de la cabecera de este río resulta fundamental para poder establecer los niveles de calidad que tendrán tanto el consumo, como la producción de elementos a partir del uso del agua derivada.



## **A. OBJETIVOS**

### **a. OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un sistema de vigilancia participativa de calidad de agua del río Colca; Caylloma–Arequipa.

### **b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Determinar una red de monitoreo de características de calidad de agua del río Colca.
2. Determinar e implementar índices que hagan entendible para la población los valores de calidad de agua del río Colca.

## **B. HIPÓTESIS**

Es posible realizar la implementación de un sistema de vigilancia ambiental participativa de la calidad del agua del río Colca, CAYLLOMA – AREQUIPA, debido fundamentalmente a que la red de estaciones de monitoreo actual no es la adecuada; y por otro lado la población no comprende claramente la información que se vierte a partir de estos sistemas de monitoreo; el diseño y mejora de una red de vigilancia ambiental depende de superar estos dos inconvenientes.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES

**Alilou, y Col. (2018)** publicaron “A cost-effective and efficient framework to determinate water quality monitoring network locations” Mencionan que una parte crucial en el diseño de una red sólida de monitoreo de la calidad del agua es la selección de lugares apropiados para el muestreo de la calidad del agua. Debido a las limitaciones de costo y tiempo, es esencial identificar y seleccionar estas ubicaciones de manera precisa y eficiente. La principal contribución del presente artículo es el desarrollo de una metodología práctica para la asignación de puntos de muestreo críticos en las condiciones presentes y futuras de las fuentes no puntuales bajo un estudio de caso de la cuenca hidrográfica de Khoy en el noroeste de Irán, donde los recursos financieros y los datos de calidad del agua son limitados. Para lograr este propósito, se aplicó el método de longitud de mezcla de ríos (RML) para proponer puntos potenciales de muestreo. Luego, el proceso de red analítica (ANP) propuso una nueva puntuación de contaminación potencial de fuentes no puntuales (NPPS) para clasificar la importancia de cada punto de muestreo antes de seleccionar las ubicaciones más apropiadas para un sistema fluvial. Además, se aplicó un modelo de cadena de Markov de autómatas celulares integrados (CA-Markov) para simular cambios futuros en fuentes no puntuales durante el período 2026-2036. Finalmente, al considerar las actividades antropogénicas a través del mapeo del uso de la tierra, el valor de la jerarquía, los valores de puntaje de contaminación potencial de fuentes difusas y la deficiencia presupuestaria en el área de estudio, se identificaron los siete puntos de muestreo para el presente y el futuro. Sin embargo, no se espera que la ubicación actual de los puntos de muestreo propuestos cambie en el futuro debido a los próximos cambios en las fuentes no puntuales. El estudio actual brinda información importante sobre el diseño de una red confiable de monitoreo de la calidad del agua con un alto nivel de garantía bajo ciertos cambios en las fuentes no puntuales. Además, los resultados de este estudio

deberían ser valiosos para las agencias de monitoreo de la calidad del agua que buscan un enfoque rentable para seleccionar las ubicaciones de muestreo.

**Rezaie-Balf y Col. (2020)** en su artículo titulado “Physicochemical parameters data assimilation for efficient improvement of water quality index prediction: Comparative assessment of a noise suppression hybridization approach” indica que la calidad del agua tiene un impacto crucial en la salud humana; por lo tanto, el modelado del índice de calidad del agua es uno de los desafíos en el sector del agua. La predicción precisa del índice de calidad del agua es un requisito esencial para su debida gestión, la salud humana, el consumo público y los usos domésticos. Se lleva a cabo una revisión exhaustiva como un intento inicial de las soluciones existentes a través de modelos basados en datos. Además, se encuentra que el filtro de conjunto de Kalman es un método de asimilación de datos adecuado, que se aplica con éxito en el modelado de variables hidrológicas y otros problemas complejos, no lineales y caóticos. En este estudio, se propone una nueva aplicación del conjunto de redes neuronales artificiales de filtro de Kalman para predecir el índice de calidad del agua utilizando parámetros fisicoquímicos para dos ríos comúnmente contaminantes, a saber, Klang y Langat, en Malasia. Como otro intento, para mejorar el rendimiento de los modelos, se adopta una nueva técnica de preprocesamiento como modelo asimilado recién construido. Los resultados confirman que la descomposición de escala de tiempo intrínseca basada en híbridos de conjunto ha reducido el error cuadrático medio en un 24 % para Klang y un 34 % para Langat, respectivamente, en comparación con el modelo de red neuronal convencional de descomposición de escala de tiempo intrínseca. En general, la metodología asimilada desarrollada muestra la solidez del modelo híbrido de conjunto propuesto en el análisis del índice de calidad del agua en horizontes mensuales que los expertos podrían evaluar la calidad del agua de los ríos de manera más eficiente.

**Wilson, Mutter, Inkster y Satterfield, (2018)** publicaron “Community-Based Monitoring as the practice of Indigenous governance: A case study of Indigenous-led water quality monitoring in the Yukon River Basin” en el que mencionan los pueblos indígenas están desarrollando cada vez más programas de Monitoreo Basado en la Comunidad para proteger las aguas y las tierras dentro de sus territorios en respuesta a múltiples factores de estrés ecológicos y políticos. Además, CBM tiende a centrarse en el papel de los pueblos indígenas como "poseedores de conocimiento". Este documento explora CBM a través de una lente de gobernanza al entender CBM como una estrategia para la afirmación de la soberanía y jurisdicción indígena. Los hallazgos de la investigación revelaron que CBM se entiende tanto como un método para generar datos útiles para la toma de decisiones como una expresión de la gobernanza en sí misma, arraigada en la comprensión de la administración, el parentesco y la responsabilidad. Nuestros hallazgos también sugieren que la calidad y la credibilidad de los datos, la confianza y la legitimidad y la relevancia para los contextos de decisión son clave para movilizar los datos de CBM en los procesos de toma de decisiones relevantes. Brindamos tres recomendaciones para mejorar los vínculos entre los programas de CBM y la gobernanza indígena: los gobiernos indígenas deben asumir un papel de liderazgo en los programas de CBM; la capacidad en red entre los gobiernos indígenas se puede construir utilizando una organización puente; y los programas de CBM deben estar estrechamente relacionados con las estrategias de gobernanza ambiental indígena. Toda la investigación en este documento es colaborativa y se basa en nuestro compromiso con la Red de Observación Indígena, una red de monitoreo de la calidad del agua basada en la comunidad liderada por indígenas que involucra a las Primeras Naciones de Yukon y BC, así como a las Tribus Nativas de Alaska. Se considera la red indígena de calidad del agua más grande del mundo y está coordinada por el Consejo Intertribal de la Cuenca del Río Yukón y el Servicio Geológico de los Estados Unidos. Los resultados se derivan de entrevistas con veinte muestreadores y otras diez partes interesadas con atención a las formas de informar mejor los procesos de toma de decisiones internos y

externos.

**Kim, y Col. (2020)** en su publicación titulada “A non-parametric trend analysis of water quality using water environment network data in Nakdong river” comentan que, en Corea del Sur, las principales aguas públicas han sido gestionadas sistemáticamente a nivel nacional. La red ambiental del agua ha sido un monitoreo continuo del cambio del ecosistema acuático, el río y el embalse. En las Redes de Monitoreo de la Calidad del Agua, los datos se han monitoreado generalmente por ocho días o meses, mientras que, en la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Agua, los datos se han monitoreado a intervalos diarios. Por lo tanto, compararon y analizaron los datos de calidad del agua entre las redes utilizando un método estadístico para el mismo elemento de calidad del agua. Los resultados de la prueba de Mann-kendall confirman que todos los puntos de temperatura del agua (WT) y OD no fueron estadísticamente significativos. En particular, el resultado reveló que existe una variación significativa de TOC en los cuatro sitios diferentes, TN en dos sitios diferentes, TP en tres sitios diferentes, WT en siete sitios diferentes, pH en dos sitios diferentes entre Water Quality Monitoring Network y Automatic Water. Red de Vigilancia de la Calidad. Como resultado, la empresa LOWESS, TOC y pH muestra claramente una tendencia diferente. Entre diferentes sitios, la calidad del agua muestra correlaciones significativamente positivas entre Sinam-Sangju2 y Namgang-Namgang4. La correlación negativa apareció significativamente en TP (sitio ADD\_Lower-AD1), TOC (sitio DG-SG), pH (sitio GR-GR), TP (JP-CN) y TN, TP, pH, EC, DO (GC-GC2- 1 sitio).

**Tomsett y Leyland (2019)** publicaron “Remote sensing of river corridors: A review of current trends and future directions” donde comentan que los corredores fluviales desempeñan un papel ambiental, económico y social crucial, pero también representan uno de los peligros naturales más peligrosos del mundo, lo que hace que el monitoreo sea imperativo para mejorar nuestra comprensión y proteger a las personas. La teledetección ofrece un conjunto de métodos en rápido crecimiento mediante los cuales el monitoreo de corredores fluviales se puede realizar de manera eficiente, en una variedad de escalas y en condiciones ambientales difíciles. Este

documento tiene como objetivo evaluar el estado actual y evaluar el futuro potencial del monitoreo del corredor fluvial, al tiempo que destaca las áreas que requieren una mayor investigación. Inicialmente revisamos los métodos establecidos que se utilizan para llevar a cabo el monitoreo de corredores fluviales, enmarcados por el contexto y las escalas en las que se aplican. Posteriormente, revisamos las tecnologías de vanguardia que se están desarrollando y se centran en los avances de los vehículos aéreos no tripulados y los sistemas multisensor. También "exploramos el horizonte" en busca de métodos futuros que puedan volverse cada vez más prominentes en la investigación y la gestión, citando ejemplos de dentro y fuera del dominio fluvial. A través de la revisión de la literatura, se ha hecho evidente que la principal brecha en la teledetección fluvial radica en el compromiso entre resolución y escalas. Sin embargo, es probable que priorizar las mediciones de procesos y la recopilación simultánea de datos de sensores múltiples ofrezca un mayor avance en la comprensión que simplemente a partir de mejores métodos topográficos. Los desafíos relacionados con el despliegue legal de sistemas más complejos, así como la difusión efectiva de datos en la comunidad científica, se encuentran entre los que proponemos que deben abordarse. Sin embargo, la plétora de métodos actualmente disponibles significa que los investigadores y las agencias de monitoreo podrán identificar técnicas adecuadas para sus necesidades.

**Chugden, (2021)** publicó, Calidad de agua de la microcuenca Lluchca, Amazonas, Perú; en que se evaluó la calidad de agua de la microcuenca Lluchca, Amazonas, Perú. Se tomó tres muestras, una por cada semana se recolectó las muestras con diferentes condiciones atmosféricas. Las muestras se tomaron en dos puntos de muestreo, establecidas de acuerdo a la intervención de áreas de pastoreo extensivo de ganado bovino dentro de dicha microcuenca. Se evaluó los parámetro fisicoquímicos y microbiológicos, tales como temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Turbidez (NTU), Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (TDS), Sólidos Totales Suspendidos (STS), Nitratos (N-NO<sub>3</sub>), Fosfatos (PO<sub>4</sub>), Coliformes totales y Coliformes fecales. Haciendo uso del programa Excel para Windows,

se compararon los resultados alcanzados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua – categoría 3 - Subcategoría D2. Donde la temperatura, potencial de hidrógeno, fosfatos, conductividad eléctrica, y sólidos disueltos, estos resultados no superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). A este análisis, se le suma los parámetros de nitratos, oxígeno disuelto, coliformes totales y coliformes fecales. Los resultados de estos últimos parámetros sobrepasan el nivel de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Determinando una afectación del pastoreo extensivo de ganado bovino sobre la calidad fisicoquímica (Temperatura, nitratos y fosfatos) y de microbiológica (Coliformes totales y fecales) del recurso hídrico en la microcuenca Lluchca.

**Espinosa Ramírez, A. J. (2018)** en su tesis doctoral titulada El agua, un reto para la salud pública: la calidad del agua y las oportunidades para la vigilancia en salud ambiental. Doctorado Interfacultades en Salud Pública. Menciona que la demanda creciente de agua más el aumento de su contaminación es el foco de esta tesis. Se señala la importancia de calidad, disponibilidad y acceso al agua para la vida, se presentan diferentes perspectivas teóricas donde se analiza la relación agua, salud y ambiente. La caracterización de efluentes industriales de la cuenca media del río Bogotá se muestra como ejemplo de contaminación puntual. A través de bio-ensayos se evidencia toxicidad, que no es detectada por el monitoreo convencional, y preocupa porque cuenca abajo el río es usado para riego y consumo humano. Ante el incremento de residuos potencialmente peligrosos cuyo destino final pueden ser cuerpos de agua, los bio-ensayos nuevamente señalan limitaciones de evaluaciones solo físicas y/o químicas. Se indica la necesidad de incluir biomodelos que indiquen afectaciones en las redes tróficas y valoren alteraciones de la calidad ambiental. El Lago de Tota fuente de agua para 1/3 de la población de Boyacá, es ejemplo de contaminación difusa por agroquímicos. El índice de riesgo de calidad de agua potable señala que ésta no es apta para consumo principalmente en la zona rural. Finalmente asociando actividades económicas y polutantes específicos se muestran debilidades en la vigilancia de ecosistemas acuáticos altamente presionados por abastecimiento y

contaminación. Se alerta sobre el escaso monitoreo a ecosistemas acuáticos receptores, el sesgo sólo hacia protección de salud humana en las valoraciones, la exclusión de evaluaciones del impacto ecotoxicológico que a largo plazo ponen en peligro el agua para la vida en un país megabiódico.

**Kachroud, y Col. (2019)** publicaron *Water quality indices: Challenges and application limits in the literature*, en el que mencionan que Desde Horton en 1965, muchos autores han buscado agregar diferentes variables que caracterizan el estado del agua en un solo valor llamado Índice de Calidad del Agua (WQI). Este índice tiene como objetivo facilitar la gestión operativa de los recursos hídricos y su asignación para diferentes usos. Aquí se revisa la descripción detallada y operativa de los principales cálculos de WQI. La revisión contiene: (1) un análisis histórico de la evolución de los métodos de cálculo del WQI al considerar tanto la elección de las variables como los métodos de ponderación y agregación de estas variables en un valor único final; (2) una ilustración de las contradicciones observadas en el resultado final cuando, en la misma base de datos, el WQI se calcula por diferentes métodos; (3) el progreso significativo posible a través de la lógica difusa para definir un WQI adaptado al uso específico del agua.

**Ismail y Robescu (2019)** Publicaron, *Assessment of water quality of the Danube river using water quality indices technique*; en el que mencionan que en su artículo, se seleccionaron seis índices de calidad del agua diferentes para evaluar la calidad del agua para diferentes usos e identificar la idoneidad de los índices seleccionados en la evaluación del río Danubio a través de una comparación integral, además, para proporcionar información sobre el espacio y variaciones temporales de la calidad del agua del río. Los índices de calidad del agua seleccionados son el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME-WQI), el Índice de Calidad del Agua de Oregon (OWQI), el Índice de Toxicidad Acuática (ATI), el Índice Universal de Calidad del Agua (UWQI), el Índice General de Contaminación (OIP) y el Índice de calidad del agua de Bascaron (BWQI). En este estudio se



consideró el conjunto de datos de calidad del agua de 13 parámetros obtenidos de 4 puntos de muestreo durante un período de monitoreo de un año. Los resultados demostraron que el CCME WQI dio resultados razonables en comparación con los datos brutos del río Danubio. Los resultados de los otros índices no introdujeron resultados representativos de los datos brutos del río. Se observó que algunos de estos índices estaban sesgados y otros tienen un problema de eclipse. Sin embargo, estos índices pueden ser aplicables a otras masas de agua.

**Zotou, Tsihrintzis y Gikas (2018)** Publicarón, Comparative assessment of various water quality indices (WQIs) in Polyphytos Reservoir-Aliakmon River, Greece; en el que intentan examinar el desempeño comparativo de siete WQI diferentes, ya que se calcularon para el embalse Polyphytos-río Aliakmon en Grecia, con base en los datos de monitoreo de la calidad del agua para el período comprendido entre junio de 2004 y mayo de 2005. Los WQI aplicados fueron: Índice de Prati de contaminación, índice de Bhargava, WQI de Oregon, índice de Dinius, CCME WQI, NSF WQI y el WQI aritmético ponderado. Se observaron discrepancias significativas en los resultados de clasificación entre las diferentes metodologías. Entre otros, se concluyó que los índices NSF y Bhargava clasifican el yacimiento en clases de mayor calidad, los índices de Prati y Dinius en media, mientras que CCME y Oregon en categorías de menor calidad.

## **1.2. Marco Conceptual**

### **1.2.1. Conceptos Generales**

El agua cubre el 71% de la corteza terrestre. Se encuentra principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5% del agua total, el 1,7 % de los glaciares y casquetes polares, los sedimentos subterráneos (acuíferos), el permafrost y los continentes representan el 1,72% y el 0,0 % restante se distribuye en orden descendente. entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y organismos vivos. (Torres, 2017)

El agua es un componente común del sistema solar, un hecho que ha sido confirmado

por descubrimientos recientes. Se encuentra principalmente en forma de hielo; De hecho, es la materia básica de los cometas y los vapores que forman sus colas. La escasez de este fluido vital obliga a reiterar el llamado de la población mundial a un consumo moderado, porque sin su colaboración, los esfuerzos de ingeniería de algunas organizaciones serían insuficientes. Solo una cantidad muy pequeña de agua se usa para el consumo humano, porque: el 90% es agua de mar y contiene sal, el 2% es hielo y se encuentra en los polos, y solo el 1% del agua de este planeta es dulce, es encontrado en los ríos., lagos y chaquetas subterráneas. Además, el agua presente en la naturaleza, para ser utilizada sin riesgos para el ser humano, debe ser tratada, eliminando partículas y organismos que puedan ser nocivos para la salud. Y, por último, conviene canalizarlo hasta tu casa, para que puedan consumirlo sin problemas ni riesgos. (Torres, 2017)

Desde un punto de vista físico, el agua circula continuamente en ciclos de evaporación o transpiración (evaporación), precipitación y movimiento hacia el mar. Los vientos transportan la cantidad de vapor de agua liberada al mar desde el proceso terrestre a una velocidad de aproximadamente 45.000 km<sup>3</sup> por año. En la Tierra, la evaporación y la transpiración contribuyen con 74.000 km<sup>3</sup> por año y provocan 119.000 km<sup>3</sup> de precipitación por año. (Mite, et. al. 2016)

Se estima que alrededor del 70% del agua dulce se utiliza para la agricultura. El agua industrial absorbe una media de 20% del consumo mundial, es utilizada en refrigeración, transporte y como disolvente para una variedad de productos químicos. El consumo de los hogares absorbe el 10% restante.

El agua es necesaria para la mayoría de las formas de vida conocidas, incluidos los seres humanos. El acceso al agua potable se ha incrementado en las últimas décadas en la superficie de la tierra. (Mite, et. al. 2016). Sin embargo, los estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en desarrollo experimentará escasez de agua para 2030; En estos países es fundamental reducir el uso de agua en la agricultura mediante modernos sistemas de riego.

## **Algunos tipos de agua**

### a) Según el uso

- No potable: los que no son aptos para el consumo humano
- Potable: los que son aptos para el consumo humano, se consideran aptos el agua sin sustancias solubles nocivas para la salud (sustancias en suspensión o microorganismos)

### b) Según la calidad de los minerales que se hayan disuelto: En el agua potable tenemos:

- Duras: las que tienen muchos minerales como calcio y magnesio
- Blandas: tienen muy pocos minerales

### c) Según el origen del agua

- Aguas superficiales: aquellas que provienen de ríos, lagos, pantanos o mares, para ser potables, deben someterse a un proceso de tratamiento para eliminar los elementos indeseables.
- Aguas Subterráneas: Agua que proviene de una fuente proveniente del nivel freático o el agua proveniente de pozos, estas aguas generalmente tienen un nivel de contaminación menor que el de la superficie, además deben ser pretratadas para ser aptas para el consumo humano

### d) Según sus propiedades y proceso de embotellamiento tienen la posibilidad de ser distintas

- Aguas de manantial: acostumbran ser aguas potables que proceden de una fuente (a veces de la misma red de repartición de aguas) que fueron sometidas a un proceso de potabilización y filtrado particular para hacerlas aptas para el consumo y proporcionarles mejor sabor y eliminarles probables olores, frecuentemente se frecuenta adicionar anhídrido carbónico.
- Aguas minerales: se considera que el agua mineral proviene de una fuente de agua subterránea protegida y, a diferencia de otros tipos de agua, contiene una abundancia constante de minerales. (Mite, et. al. 2016)

En la Unión Europea El Reglamento 98/83/EU establece valores máximos y mínimos para el contenido de diversos minerales e iones como cloruro, nitrato, nitrito, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico, etc. Patógenos. El pH del agua potable debe ser entre 6,5 y 9,5. Los controles del agua potable suelen ser más estrictos que el agua mineral embotellada. (Toledo, 2017).

En áreas de uso agrícola intensivo, cada vez es más difícil encontrar pozos con agua que cumpla con los requisitos de la norma. En particular, los valores de nitratos y nitritos, así como las concentraciones de compuestos fitosanitarios, a menudo superan los límites permisibles, a menudo debido al uso masivo de fertilizantes minerales o al tratamiento de aguas residuales. El nitrógeno así aplicado no es asimilado por las plantas, es transformado en nitrato por los microorganismos del suelo y el transportado por el agua de la lluvia al agua subterránea. (Toledo, 2017).

Otros contaminantes ambientales como derrames derivados de petróleo, lixiviados de minas, etc. También ponen en peligro el suministro de agua potable. Las causas del agua no potable son: bacterias, virus, minerales (en forma de gránulos o disueltos), productos tóxicos, suciedad o partículas en suspensión, materia orgánica, materiales radioactivos, entre otros.

El agua potable se llama agua dulce, después de someterse al proceso de filtración, se convierte en agua apta para el consumo humano, se puede consumir sin ninguna restricción, pero primero debe pasar el debido control de calidad además de pasar por estrictos estándares nacionales e internacionales. (Toledo, 2017).

### **Calidad del Agua**

- Definición: Incluye un conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apta para el consumo humano y se relaciona con los sistemas de suministro, disponibilidad y filtración aplicados.

- Parámetros que determinan la calidad del agua: muchos parámetros son útiles para medir los niveles de contaminación y la calidad del agua, se clasifican en los siguientes grupos: características físicas, químicas, biológicas y radiológicas. (Mite, et al., 2016).

### **Parámetros Físicos**

**Temperatura:** Es una medida del grado de calor del cuerpo del agua. Este parámetro puede incidir mucho en la calidad del agua, ya que determina otras propiedades y procesos que tienen lugar en el agua como la viscosidad, la solubilidad de los gases y de las sales, procesos fisiológicos de los organismos que provocan variaciones de su metabolismo, y la proliferación de ciertos microorganismos, etc. (Ulloa et. al., 2021)

La temperatura varía anualmente a consecuencia de la meteorología y del clima. Esta variación tiene mucha incidencia dentro del ecosistema fluvial, ya que determina la riqueza y abundancia de los organismos. La adaptación de éstos a la temperatura se manifiesta con el patrón biológico, que es propio de cada uno de ellos y se repite de forma cíclica a lo largo del tiempo. La actividad antropogénica, puede alterar la temperatura. Esta contaminación térmica puede estar producida, por ejemplo, por el vertido de aguas calientes que han sido utilizadas como refrigerante en centrales nucleares y térmicas. Estas variaciones de la temperatura del río implican un fuerte estrés para muchas especies y un peligro para su supervivencia. Las especies más tolerantes o con un ciclo biológico menos específico se convierten en abundantes. El análisis de las comunidades biológicas, por lo tanto, nos puede servir como indicador de la variación local de la temperatura.

Finalmente, hay que tener en cuenta que la temperatura incide, además, en la solubilidad del oxígeno en el agua. Este efecto tiene una fuerte incidencia sobre la fauna y la flora acuática asociada al curso del agua. (Ulloa et. al., 2021)

**Turbidez:** Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde una dispersión coloidal hasta gránulos gruesos, entre

arcillas, limos, sólidos orgánicos e inorgánicos descompuestos, plancton y microorganismos.

La turbidez medida por el nefelómetro es actualmente: Unidad de Turbidez Nefelométrica (UTN), con Turbidez superior de 5 ppm detectable, por lo que debe reducirse mediante procesos de coagulación, condensador, decantador y filtro. La Organización Mundial de la Salud (OMS) asume que, en general, la apariencia del agua con una turbidez de menos de 5 unidades nefelométricas (NTU) es aceptable para los consumidores. Sin embargo, debido a que muchos microorganismos se adsorben o se aglomeran en las partículas en suspensión presentes en el agua, los desinfectantes no pueden llegar a ellos para destruirlos, por lo que la efectividad del proceso de desinfección depende de obtener la menor turbidez posible. (Mite, et al., 2016)

En este sentido, la OMS establece la necesidad de que el tratamiento del agua, antes de la desinfección final, sea en promedio 1 NTU, y nunca supere 5 NTU.

**Conductividad:** Es una medida de las cargas iónicas que circulan dentro del agua. Esta medida nos ofrece una información general de la concentración de sales e iones (sales disociadas) presentes en el agua. Los iones más habituales hallados en las aguas naturales son: sodio, calcio, magnesio, bicarbonato, sulfato y cloruro. Sus concentraciones presentan fuertes oscilaciones, desde bajas concentraciones en ríos de alta montaña, hasta casos de mayor concentración. (Ulloa et. al., 2021)

La concentración de sales en el agua depende de diversos factores; aquí citaremos un par de ejemplos. Uno de ellos es el tipo de sustrato geológico por el cual transcurre el agua. De manera que, si el agua ha pasado por terrenos calcáreos, la concentración de sales será mayor que si lo ha hecho por terrenos graníticos. Otra fuente de iones es el vertido de aguas residuales, tanto urbanas como industriales.

El incremento de la conductividad y de la salinidad del agua, tiene graves efectos sobre el ecosistema fluvial, llegando incluso a una fuerte reducción de la biodiversidad.

A partir de concentraciones mayores de 1.500 mg/l de sales se notan los efectos sobre

la biota fluvial y, en el caso de riego con esta agua, en los cultivos. Si se sobrepasan los 2.000 mg/l, se reduce fuertemente la biodiversidad dentro del agua. (Ulloa et. al., 2021)

### **Parámetros Químicos**

**Cloro residual:** El cloro es el manager más usado en el planeta como sanitizante en el agua de consumo humano, debido primordialmente a su carácter poderosamente oxidante, responsable de la devastación de los agentes patógenos (en particular bacterias) y varios compuestos responsables de malos sabores o Su más que comprobada inocuidad a las concentraciones usadas, la facilidad de mantener el control y revisar los niveles adecuados.

La cloración del agua para suministros y residuales sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades, una segunda ventaja principalmente en el tratamiento de agua de bebida, reside en la mejora general de su calidad, como consecuencia de la reacción del cloro con el amoniac, hierro, manganeso, sulfuros y algunas sustancias orgánicas.

El cloro en solución acuosa no es estable, y su contenido en las muestras y soluciones, especialmente en soluciones poco concentradas disminuye de manera rápida, además factores como la exposición a la luz solar y otra luz fuerte o la agitación aceleran la reducción de los niveles de cloro. Por ello empezar la determinación de cloro inmediatamente después de tomar la muestra, evitando el exceso de luz o agitación evita el registro de datos falsos. (Mite, et al., 2016)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que no se han observado efectos adversos en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en el agua potable. Sin embargo, establece un valor de referencia máximo para el cloro libre de 5 mg por litro y establece explícitamente que se trata de un valor conservador.

**Oxígeno disuelto (OD).** Es la medida de la concentración de oxígeno en el agua, usando como

referencia el 100% de saturación de oxígeno en el aire. (Villalba et. al. 2017)

La cantidad de oxígeno disuelto en agua tiene una gran incidencia en el desarrollo de la vida y de muchos procesos que se dan en el medio acuático. Los organismos vivos necesitan oxígeno para mantener su metabolismo, y su captación se realiza a través de la respiración. Por este motivo, el oxígeno ha sido siempre una medida imprescindible en los estudios de la calidad del agua.

El oxígeno disuelto en agua varía de forma inversamente proporcional a la temperatura, es decir, una mayor temperatura implica una menor concentración de oxígeno disuelto en el agua. Este hecho podría explicar la mayor mortalidad de peces en el verano, ya que las balsas desconectadas que presentan los ríos mediterráneos favorecen un aumento de temperatura y una menor disponibilidad de oxígeno para los organismos que las habitan. (Ulloa et. al., 2021)

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno es del 100%, el agua tiene una saturación igual a la atmosférica y es usado como valor de referencia. Pero cuando ésta es menor, es un indicador de que algunos microorganismos están utilizando el oxígeno para oxidar la materia orgánica con una tasa superior a la normal; es decir, el río en estudio provee un uso de oxígeno superior al generado por el metabolismo de las algas que puede crear episodios de anoxia. Este hecho podría indicar un aumento en la concentración de materia orgánica en el agua, originada por un vertido de aguas residuales. Por otro lado, si el agua está sobresaturada (valores mayores del 100%), indica una presencia superior a la normal de productores primarios (algas y fitoplancton), desarrollados gracias a un exceso de nutrientes y a la disponibilidad de la luz.

**Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).** Mide la cantidad de oxígeno disuelto consumido, bajo condiciones preestablecidas por la oxidación microbiológica de la materia orgánica presente en el agua. Existen diferentes condiciones preestablecidas para determinar este parámetro, pero la más frecuente es la DBO5, que usa unos periodos de incubación de cinco días. Este proceso se lleva a cabo en la oscuridad para evitar la acción de los productores primarios, ya que con la



fotosíntesis generarían oxígeno, inexistente inicialmente, que desviaría los resultados. (Ulloa et. al., 2021)

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es una medida de la cantidad de oxígeno disuelto consumido, bajo condiciones preestablecidas por la oxidación química de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se usan diferentes oxidantes, como el dicromato potásico o el permanganato potásico. Este ensayo permite medir la cantidad de compuestos orgánicos, sales minerales oxidables (como los sulfuros), ya sean biodegradables o no. (Ulloa et. al., 2021)

Los parámetros DBO y DQO aportan informaciones diferentes por lo que, frecuentemente se usan los dos en las medidas de la calidad química del agua. Normalmente, los valores de la DQO son mayores que los de la DBO, porque el oxidante químico es capaz de reaccionar con sustancias de difícil biodegradación para los microorganismos.

También tiene interés el coeficiente entre los valores DBO y DQO. Esta relación nos indica el tipo de contaminación de las aguas residuales. Un cociente DBO/DQO inferior a 0,2 nos informa de un vertido de tipo inorgánico (probablemente, aguas residuales industriales), mientras que si es superior a 0,6 el vertido es orgánico (probablemente, aguas residuales urbanas, restos de ganado o industria alimenticia).

Finalmente, de estos dos parámetros hay que destacar que la DQO es más fácil de estandarizar, si bien no refleja tan bien como la DBO la capacidad de autodepuración del medio natural. (Ulloa et. al., 2021)

### **1.2.2. Índices de Calidad de Agua**

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Para simplificar la interpretación de los datos de su monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA) e índices de contaminación (ICO), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores

ambientales y el público en general. La principal diferencia entre unos y otros está en la forma de evaluar los procesos de contaminación y el número de variables tenidas en cuenta en la formulación del índice respectivo. En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. (Rezaie-Balf et al. 2020)

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para la regulación del recurso hídrico en el mundo ya que ésta considera criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia, muchos países han desarrollado estudios e indicadores tendientes a aplicar criterios de evaluación propios, de tal manera que su aplicabilidad corresponda con sus requerimientos y necesidades.

Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad del agua tienen bastante historia. Existe información de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas; sin embargo, el desarrollo de ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad en una escala prácticamente continua es relativamente reciente.

Horton (1965) citado por Zotou, Tsihrintzis y Gikas (2018) proponen el uso de ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, y son pioneros en la generación de una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICA de manera formal se basó en la estructura del índice de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo (Gomes y Wai, 2020) La clasificación consideró las características que debe presentar la fuente de captación para su destinación para consumo humano. A pesar de haber sido

desarrollado en Estados Unidos, es ampliamente empleado en el mundo y ha sido validado y/o adaptado en diferentes estudios.

En España, Queralt en el año 1982 desarrolló el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña, el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano. (Zotou, Tsihrintzis y Gikas, 2018).

## CAPITULO II

### MATERIAL Y METODOS

#### 2.1. Zona de estudio

El presente trabajo de investigación se ha realizado considerando la parte alta de la cuenca del río Colca que pertenece a la provincia de Caylloma, región Arequipa, se ha considerado el tramo que se ubica en la parte superior en los distritos de Callalli y Sibayo; y la parte inferior el punto intermedio entre el distrito de Ichupampa y Lari; se ha considerado esta zona debido a la importancia que tiene debido a que el agua es derivada hace varias irrigaciones de la región Arequipa, que si bien es cierto le dan principalmente uso agrícola, también es utilizado para uso poblacional y otros.



*Figura No. 1: imagen de la zona considerada en el estudio*

## 2.2. Determinación de la red de monitoreo

El primer paso para poder determinar la red de monitoreo es establecer el objetivo que va a tener la misma, para ello se ha considerado el criterio establecido por Moreno, Toro y Carbajal (2008) (citado Alilou, et. a. 2018), en el cual se determinan los siguientes objetivos generales:

**Tabla N° 1:**

*Objetivos predeterminados para la determinación de redes de monitoreo de calidad de agua en ríos*

<b>OBJETIVOS GENERALES</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>
Seguimiento el recurso	<ul style="list-style-type: none"><li>- Evaluación de las tendencias en la variación temporal de los parámetros de calidad del agua a corto y largo plazo</li><li>- Establecimiento de sistemas de información para el manejo de recursos hídricos</li></ul>
Vigilancia y control	<ul style="list-style-type: none"><li>- Monitoreo de violaciones a estándares de calidad específicos para una cuenca o para un uso del recurso determinado</li><li>- Identificación de causas y fuentes externas que afecten la calidad del agua</li><li>- Seguimiento del ingreso de contaminantes y evaluación de medidas de control del recurso agua</li><li>- Diseño de sistemas de alerta temprana para evaluar la contaminación accidental de una corriente de agua</li></ul>
Modelamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>- Examen a corto plazo de las variaciones en la calidad del agua para investigaciones específicas</li><li>- Obtención de información para la toma de decisiones</li><li>- Planificación de la política de la tasa retributiva</li><li>- Estimación de la carga contaminante por cada unidad de cuenca para desarrollar un análisis de carga diaria máxima total</li></ul>

**Fuente: Alilou, y Col 2018**

De la propuesta de Moreno, Toro y Carbajal (2008) (citado Alilou, et. a. 2018); que se observa en la tabla anterior se ha considerado para la presente investigación que la red de monitoreo mínimamente debe cumplir con dos objetivos los cuales son:

- Establecimiento de sistemas de información para el manejo de recursos hídricos.
- Diseño de sistemas de alerta temprana para evaluar la contaminación accidental de una corriente de agua.

### 2.3. Determinación de la ubicación de las estaciones de monitoreo

Para la determinación de las estaciones de monitoreo se utilizaron los criterios establecidos por Sharp, (1970) y Sanders (1976) (citados por Alilou, et. a. 2018) el cual utiliza los órdenes de corrientes de Horton como base para dividir la red de drenaje en sub dominios; en este caso, el dominio principal está marcado por el río Colca, siendo el río Pulpera un sub dominio en el cual se requiere conocer la calidad para ver el efecto que tiene sobre el río dominio.



**Figura No. 2:** Representación del sistema de Horton

- El primer criterio está relacionado con ubicar estaciones en las partes altas de la cuenca las cuales de acuerdo a sus características deben ser consideradas como blanco, es decir, que no tienen el efecto de ingreso de sustancias antropogénicas que modifiquen la calidad del recurso agua
- El segundo criterio establecido corresponde a la presencia de sub dominios de primer, segundo o tercer orden considerando fundamentalmente que presenten carga de agua que no sea menor de 15 l/s promedio anual.
- El tercer criterio es la presencia de fuentes de contaminación puntual o difusa que se presente asociado al cauce; este criterio es también considerado en el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (R.J. No. 010-2016-ANA); el cual determina que el punto de monitoreo no puede estar a menos de 200 m aguas abajo del punto identificado como de vertimiento puntual o difuso; o 50 m aguas arriba del vertimiento puntual o difuso.

#### **2.4. Parámetros fisicoquímicos evaluados**

Para el presente estudio se tomaron parámetros fisicoquímicos en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas, este trabajo se realizó durante el mes de octubre del año 2019 y el mes de noviembre del año 2021; se consideró la época de estiaje basado en los criterios de según Zotou y Col (2018); Ulloa y Col. (2021), que mencionan que debido al menor contenido de agua se puede establecer adecuadamente el impacto de sustancias antropogénicas que ingresan a los ríos.

Se considera los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, demanda química de oxígeno, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto; la selección de estos parámetros también consideró el enfoque económico y de factibilidad ya que requiere otro tipo de parámetros que involucra un costo económico más elevado; para ser propuesto en la red de monitoreo.

Los parámetros temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno

disuelto; fueron medidos a través de un multi parámetro de marca YSI modelo 3022, el cual cuenta con kit de calibración para cada parámetro.



**Figura No. 3:** *Multiparámetro YSI usado para la medición de calidad de agua el equipo pertenece al proyecto UNSA – PURDUE*

Para el caso de la demanda química de oxígeno, se obtuvieron las muestras de agua de las estaciones de monitoreo consideradas y se agregaron 2 ml de muestra a viales LCK 114 marca HACH, luego fueron trasladadas al laboratorio; en el laboratorio fueron colocados a baño María por dos horas y luego leídos al espectrofotómetro a 410 nm.



**Figura No. 4:** *Viales LCK 114 marca HACH y lectura al espectrofotómetro El kit pertenece al proyecto UNSA – PURDUE*



## 2.5. Determinación del índice simplificado de calidad de agua (ISQA)

Se aplica el índice simplificado de calidad de agua para permitir una más fácil interpretación de los valores fisicoquímicos encontrados en campo, y que estos puedan ser entendidos y tomados en cuenta por los pobladores de la zona permitiendo de esa manera el desarrollo de un verdadero monitoreo participativo; se propuso la versión del índice establecida por Kachroud y Col. (2019), sin embargo, presenta diversas versiones; el índice se calcula mediante la siguiente fórmula

$$ISQA = E * (A + B + C + D)$$

Dónde: ISQA = Índice Simplificado de Calidad de Aguas

E = Temperatura

A = Demanda Química de Oxígeno

B = Sólidos Totales Disueltos

C = Oxígeno Disuelto

D = Conductividad

El método establece que cada uno de los parámetros tiene que ser ajustado de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla N° 2:**

*Componentes y cálculos de Índice Simplificado de Calidad de Aguas ISQA*

Parámetro	Notación	Cálculo
Temperatura	E	$E = 1$ si $T \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $E = 1(T-20) * 0.0125$ si $T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Demanda Química de Oxígeno	A	$A = 30 - DQO$ si $DQO \leq 20\text{ mg/l}$ $A = 21 - (0.35 * DQO)$ si $120\text{ mg/l} \geq DQO > 20\text{ mg/l}$ $A = 0$ si $DQO > 120\text{ mg/l}$
Sólidos Totales Disueltos	B	$B = 25 - (0,15 * DST)$ si $DST \leq 100\text{ mg/L}$ $B = 17 - (0,07 * DST)$ si $250\text{ mg/L} \geq DST > 100\text{ mg/L}$

		$B = 0$ si $DST > 250$ mg/L
Oxígeno Disuelto	C	$C = 2,5 * O_2$ si $O_2 < 10$ mg/L $C = 25$ si $O_2 \geq 10$ mg/L
Conductividad	D	$D = (3,6 - \log CE) * 15,4$ si $CE \leq 4000$ $\mu S/cm$ $D = 0$ si $CE > 4000$ $\mu S/cm$

Fuente: Kachroud y Col. (2019)

Los valores obtenidos de la suma se encuentran en el rango de 0 a 100, el valor obtenido es comparado con la siguiente tabla.

**Tabla N° 3:**  
*Escala de valores y calificaciones del indicador de calidad de aguas*

VALOR DE INDICE	CLASIFICACION	ESCALA DE COLOR
0 -25	Calidad muy mala	rojo
26 -50	Calidad mala	naranja
51 - 70	Calidad media	amarillo
71 - 90	Calidad Buena	verde
91 - 100	Calidad excelente	azul

Fuente: Kachroud y Col. (2019)

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

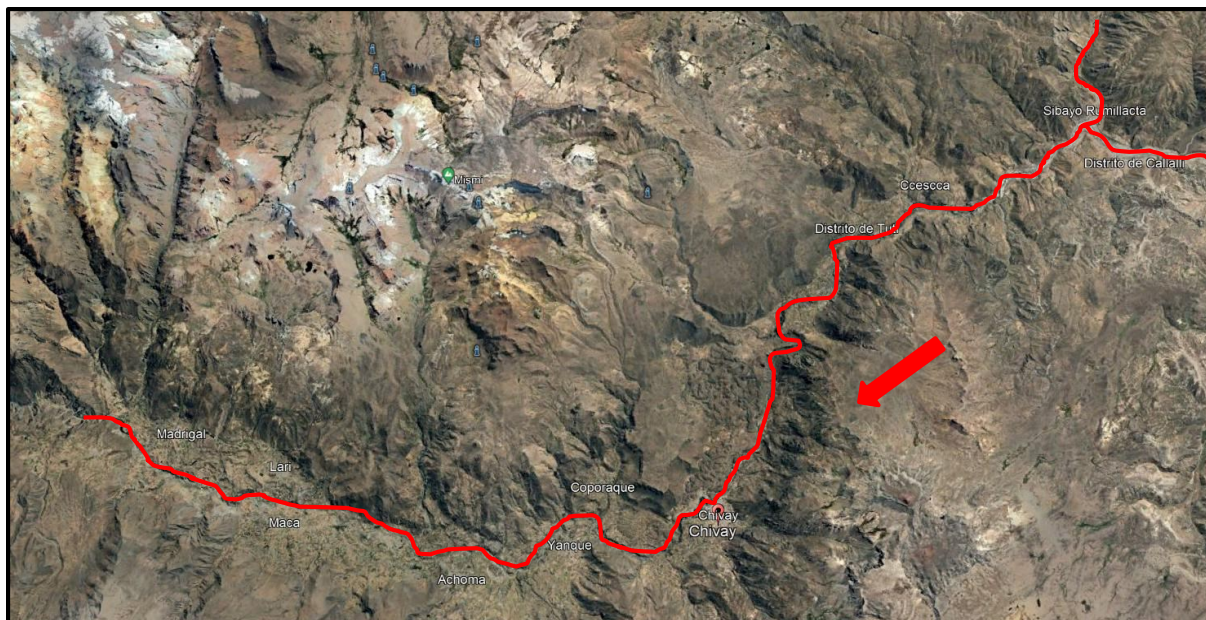
#### **3.1. Determinación de la red de monitoreo de calidad de agua en la cabecera del río Colca**

Desde los trabajos de Moreno, Toro y Carbajal (2008; citado Alilou, et. a. 2018) el paso fundamental para establecer una red de monitoreo es determinar el objetivo de la misma, es decir, que tipo de información se requiere obtener de la misma; en el presente caso se considera como objetivos de la determinación de la red de monitoreo de calidad de agua en establecer un sistema de información para el manejo recursos hídricos, y tener un sistema de alerta temprana para evaluar la contaminación ambiental en la corriente de agua; esto debido a que la cuenca del río Colca es derivada para irrigaciones importancia fundamental en la región Arequipa como son la irrigación Majes Sigvas I y en el futuro Majes Sigvas II; se debe entender, que si bien el objetivo fundamental es la ampliación de la frontera agrícola, el agua derivada también es utilizada para usos poblacionales y otros, por lo que la calidad de la misma resulta siendo un factor fundamental en la calidad de vida de los usuarios, de las actuales y futuras irrigaciones.



**Figura No. 5:** *Imagen de la zona de embalse de Tuti, donde se deriva el agua del río Colca a las irrigaciones de la región Arequipa*

La zona considerada en la presente red de monitoreo se encuentra ubicada aguas arriba de la confluencia entre el río Pulpera y el río Colca en ambos causes; así para la cuenca del río pulpera se considera desde 241076.18 E y los 8283184.91 S en grados UTM y a una altura de 3902 msnm; este punto se encuentra aguas arriba de la población del distrito de Callalli; por el lado del río Colca desde los 235555.00 m E y 8287802.00 m S en grados UTM y a una altitud de 3837 msnm. La zona se extiende hasta los 206275.00 m E y los 8268801.00 m S grados UTM a una altura de 3337 msnm que se encuentran entre la localidad de Ichupampa y Lari; lo cual establece una variación altitudinal desde el punto más alto hasta el más bajo de 665 m; teniendo una distancia aproximada de 50.44 km.



**Figura No. 6:** Imagen de la zona considerada para la red de monitoreo propuesta

### 3.2. Características y ubicación de las estaciones de monitoreo propuestas

Luego del análisis total de la zona, se consideran siete estaciones de monitoreo las cuales se observan en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4:**  
Ubicación y características de las estaciones de monitoreo para calidad de agua propuestas

DENOMINACION DE LA ESTACION DE MONITOREO	UTM		ALTURA msnm	REFERENCIA
COLCA No. 1	241470	8283120	3902	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquiqa
COLCA No. 2	236615	8285148	3820	Rio Pulpera, Luego de Callalli; antes de rio Colca
COLCA No. 3	235555	8287802	3835	Rio Colca; antes de Sibayo
COLCA No. 4	234373	8284303	3809	Rio Colca; después de sibayo
COLCA No. 5	227733	8280960	3774	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti
COLCA No. 6	222917	8273717	3631	Rio Colca; antes de Chivay
COLCA No. 7	206275	8268801	3237	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari



### 3.2.1. Estación Colca No. 1

Para la determinación de esta Estación de monitoreo se utilizan los criterios establecidos desde los pioneros en el tema como son Sharp, (1970) y Sanders (1976) (citados por Alilou, et. a. 2018) el cual utiliza los órdenes de corrientes de Horton como base para dividir la red de drenaje en sub dominios; en este caso, el dominio principal está marcado por el río Colca, siendo el río Pulpera un sub dominio en el cual se requiere conocer la calidad para ver el efecto que tiene sobre el río dominio; además esta estación corresponde a la mayor altura sobre el nivel del mar de todas las consideradas encontrándose a los 3902 msnm; en esta zona el río carece del monte ribereño, y se encuentra rodeado por pastizal altoandino y vegetación típica de bofedal constituido principalmente por especies de juncos como son los géneros *Distichia* y *Oxicloe*, se debe tener en cuenta en este caso que el agua liberada para el muestreo podría ser tomada como “blanco” según Rezaie-Balf y Col (2020), es decir, que podría considerarse como agua en su contenido natural sin contaminantes principalmente de origen antropogénico.



**Figura No. 7:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 1

### **3.2.2. Estación Colca No. 2**

En el caso de este punto de monitoreo se sigue considerando al río Pulpera como sub dominio del río Colca, sin embargo, se ubica este punto aguas abajo del emplazamiento de la población del distrito de Callalli en la cual se observa vertimiento de aguas residuales hacia el río, para verificar el impacto de las mencionadas aguas residuales sobre la calidad del agua del río; la estación de muestreo se ubica a aproximadamente 900 m del último punto de vertimiento del agua del distrito cumpliendo con lo establecido por el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (R.J. No. 010-2016-ANA) el cual establece una distancia mínima de 200 m de la zona de mezclas de agua.



**Figura No. 8:** *Vista de la estación de monitoreo Colca No. 2*

La figura anterior muestra la estación de monitoreo Colca No. 2, en el cual se puede evidenciar la carencia de monte ribereño, y una vegetación similar al punto de monitoreo anterior; por otro lado, se observa un botadero de residuos sólidos clandestino el cual parece presume vierten sus lixiviados a las aguas del río



**Figura No. 9:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 2 con respecto a la población de Callalli

### **3.2.3. Estación Colca No. 3**

La tercera estación de monitoreo considerada, se encuentra aguas arriba del distrito de Sibayo, de acuerdo a los órdenes de corriente de Horton esta estación está bien ubicada ya en el dominio, que corresponde al río Colca, pero que se encuentra por arriba de la confluencia con el río Pulpera, la razón por la cual se le considera en base a numeración en tercer lugar es que su altura sobre el nivel del mar es 3835 msnm que es más baja que la considerada para la estación de monitoreo Colca No. 1; de acuerdo a Rezaie-Balf y Col (2020), esta también sería una estación blanca ya que no estaría afectada por vertimientos significativos de actividades antropogénicas, sin embargo, se debe mencionar que la estación se ha ubicado aproximadamente a 200 m aguas arriba del botadero clandestino de residuos sólidos del distrito de Sibayo; de acuerdo al Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (R.J. No. 010-2016-ANA), se debe tomar una distancia de 50 m aguas arriba de cualquier vertido ciente puntual o difuso de origen antropogénico; en este caso se han tomado 200 m,





**Figura No. 10:** *Vista de la estación de monitoreo Colca No. 3 con respecto botadero de residuos sólidos de la población de Sibayo.*



**Figura No. 11:** *Vista del botadero de residuos sólidos de la población de Sibayo*

En las figuras anteriores se muestra la ubicación e imágenes del botadero de residuos sólidos de la población de Sibayo; en la última se puede verificar el vertimiento de lixiviados hacia las aguas del río Colca, además se debe de considerar que se encuentran aproximadamente a 200 m aguas abajo del punto de monitoreo por lo tanto no modifica los parámetros a ser monitoreados.

#### **3.2.4. Estación Colca No. 4**

La estación cuatro de acuerdo al criterio de dominio de Horton se encuentran en el dominio principal que corresponde al río Colca, se ubica aproximadamente a 1700 m de la confluencia con el río Pulpera, en este caso se han considerado varios factores, el primero de ellos la distancia con respecto a la zona de mezcla entre la confluencia del Río Pulpera y el río Colca la cual debería ser de 200 m; sin embargo, en la orilla derecha de esa confluencia se encuentra todavía ubicada la población del distrito de Sibayo, en el cual se ha observado vertimientos de agua residuales directas al río, se tomó en cuenta por lo tanto que existe vertimiento difuso de contaminantes y eso hizo que se considerara la estación de monitoreo aguas más abajo; por otro lado, se observan dos quebradas que confluyen directamente hacia el río Colca pudiendo ser consideradas como subdominios, a pesar que Smith y Maasdam (1994) (citados por Alilou, et. a. 2018), consideran un sub dominio, con el que presenta un caudal superior a  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , y si bien se observa el escurrimiento hídrico a partir de las dos quebradas no se ha podido determinar los caudales ya que son tremendamente variables, por ello se establece la estación de monitoreo a 600 m aproximadamente de la confluencia de ambas quebradas. En la zona en la cual se encuentra emplazada la estación considerada, no se observa monte ribereño y la vegetación corresponde a Pajonal altoandino constituida básicamente por los géneros *Stipa* y *Calamagrostis*.



**Figura No. 12:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 4 donde se observan las quebradas como sub dominios

La figura muestra la ubicación de la estación de monitoreo, y aguas arriba ubicadas las dos quebradas que constituyen los sub dominios, y algo más arriba la presencia de la población decisiva ello que establece físicamente los motivos de la ubicación de esta Estación de monitoreo.



**Figura No. 13:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 4



### **3.2.5. Estación Colca No. 5**

La estación de monitoreo denominada Colca No. 5 se encuentra ubicada aguas arriba de la infraestructura de derivación de Tuti hacia las edificaciones de la región Arequipa, se debe mencionar que esta Estación de monitoreo corresponde también a la considerada por la Autoridad Nacional del Agua, como parte de su monitoreo participativo de calidad de agua en las cuencas; sin embargo, de toda la zona determinada para el presente estudio es la única estación que existe de la mencionada autoridad.

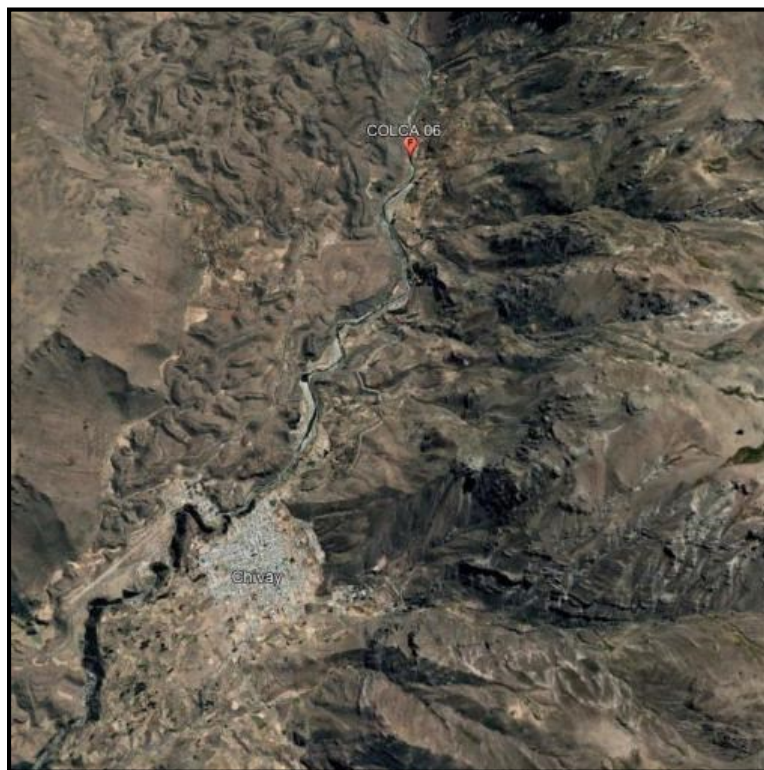
La ubicación de esta estación de monitoreo se respalda en lo establecido por Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (R.J. No. 010-2016-ANA), que indica que se debe llevar a cabo monitoreo de calidad de agua previo a las infraestructuras de manejo del recurso hídrico.



**Figura No. 14:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 5

### 3.2.6. Estación Colca No. 6

La estación de monitoreo de calidad de agua denominada Colca No. 6 .Se ubica aguas arriba de la población de Chivay aproximadamente 3.5 kilómetros, los criterios considerados para tomar en cuenta esta Estación de monitoreo son; los establecidos por Alilou y Col. (2018) y por el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (R.J. No. 010-2016-ANA) los cuales indican que antes de, una población importante se debe considerar una estación ya que en muchos casos se utiliza esa agua para consumo humano u otras actividades; el distrito de Chivay según el censo del año 2017 (INEI 2018) presenta una población de 5770 habitantes, Sin embargo, debe mencionarse que debido principalmente a las actividades de turismo la población se incrementa de manera significativa llegando a ser en algunos casos hasta de 20,000 habitantes



**Figura No. 15:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 6

Esta estación se encuentra a una altura de 3631 msnm, lo que hace que la vegetación del entorno de la estación de monitoreo varíe con respecto al anterior; aquí ya se encuentran la presencia de un monte ribereño representado fundamentalmente por especies arbustivas del género *Bacharis*, juncos como *Cortadeira* y árboles como *Eucaliptus* (especies introducidas) además de *Opuntia ficus indica* conocida con el nombre Común de tuna.



**Figura No. 16.** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 6

### **3.2.7. Estación Colca No. 7**

La estación de monitoreo denominada Colca No. 7, se encuentra ubicada aguas abajo del distrito de Chivay aproximadamente 17 km; en este caso el criterio considerado para la ubicación de esta estación de monitoreo está relacionada con la ubicación geográfica que tienen otros distritos, por ejemplo, inmediatamente después del distrito de Chivay, se encuentra el distrito de Yanque, que al igual que el anterior vierte sus aguas residuales al río, y luego se presenta el distrito de Ichupampa; si se fijará la estación de monitoreo a 200 m debajo del área de influencia de vertimientos del distrito de Chivay, ya estaríamos afectados por los vertimientos



del distrito de Yanque y lo mismo con el distrito de Ichupampa, por otro lado, hacia la orilla derecha e izquierda del río entre Yanque e Ichupampa se observan quebradas a manera de sub dominios sobre el río Colca y aplicando los criterios antes considerados se propone la ubicación de esta estación entre el distrito de Ichupampa y de Lari.



**Figura No. 17:** Vista de la estación de monitoreo Colca No. 7 mostrando los sub dominios

La estación de monitoreo presenta monte ribereño más consolidado que en el caso anterior, pero con los mismos componentes, además de ello se muestra abundante canto rodado, es decir rocas como sustrato predominante



**Figura No. 18:** *Vista de la estación de monitoreo Colca No. 7*

### **3.3. Determinación de los parámetros a monitorear**

Autores como de Moreno, Toro y Carbajal (2008; citado Alilou, et. a. 2018), mencionan que los parámetros determinados para la red de monitoreo dependen de los objetivos que se tenga en la red, sin dejar de considerar la posibilidad que de acuerdo al requerimiento especial se puedan incrementar los mencionados parámetros basados en la certeza de ubicación de las estaciones de monitoreo. Considerando que en este caso se han planteado dos objetivos iniciales que son: establecer un sistema de información para el manejo de recursos hídricos, y tener un sistema de alerta temprana para evaluar la contaminación ambiental en la corriente de agua, considerando también lo indicado por el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (R.J. No. 010-2016-ANA), se considera los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, demanda química de oxígeno, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto; la selección de estos parámetros también considera el enfoque económico y de factibilidad ya que requiere otro tipo de parámetros que involucra un costo económico más elevado; por otro lado estos parámetros van a permitir el desarrollo del



denominado índice simplificado de calidad de agua ISQA; el cual, al ser de fácil entendimiento puede ser utilizado por cualquier poblador sin necesidad de tener una especialización y entender cómo está la calidad del agua en la zona en la que desarrolla el monitoreo.

Se realizaron monitoreos de los parámetros considerados en el mes de octubre del año 2019 y en el mes de noviembre del año 2021 los resultados se observan a continuación.

### 3.3.1. Temperatura

La temperatura se considera un parámetro importante ya que guarda relación directa con el metabolismo de los organismos acuáticos y con el desarrollo de reacciones químicas que involucran los ciclos de contaminantes y otras sustancias presentes en el agua, sobre todo lo concerniente a materia orgánica.

#### Tabla N° 5:

*Valores de temperatura tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca*

ESTACION DE MONITOREO	REFERENCIA	2019 °C	2021 °C
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquiya	16.7	17.1
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callali; antes de rio Colca	16.5	16.9
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	15.9	16.6
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	16.8	17.4
COLCA No. 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	21.3	20.5
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	18.4	17.9
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	18.6	18.1

La tabla anterior muestra los valores de temperatura obtenidos para el año 2019 y 2021 en las estaciones de monitoreo propuestas; en ambos años se observa un incremento significativo en la estación Colca No.5 la cual corresponde a la bocatoma de Tuti, se debe hacer notar que éste es un embalse en el cual la temperatura se eleva al estar el agua detenida y almacenada por un tiempo. Por lo demás los valores de temperatura guardan relación con la

zona geográfica en la cual se encuentran las estaciones de monitoreo y la temporalidad de estiaje.

### 3.3.2. pH

Los valores de pH determinan el grado de acidez o basicidad en el cual se encuentra el agua, el D.S. 004-2017-MINAM que marca los estándares de calidad de agua establece que los valores normales están entre 6.5 y 8.5

**Tabla N° 6.**

*Valores de pH tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca*

ESTACION DE MONITOREO	REFERENCIA	2019	2021
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquipa	7.9	8.1
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callali; antes de rio Colca	7.9	8.1
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	7.6	7.7
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	7.4	7.3
COLCA No. 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	8.2	8.3
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	8.1	8.1
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	8.2	8.1
ECA*	6.5 - 8.5		

\* Estándar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM

Como se observa en la tabla anterior los valores de pH reportados para las estaciones de monitoreo consideradas en el presente trabajo se encuentran dentro del rango establecido por el ECA de agua (D.S. 004-2017-MINAM)

### 3.3.3. Conductividad

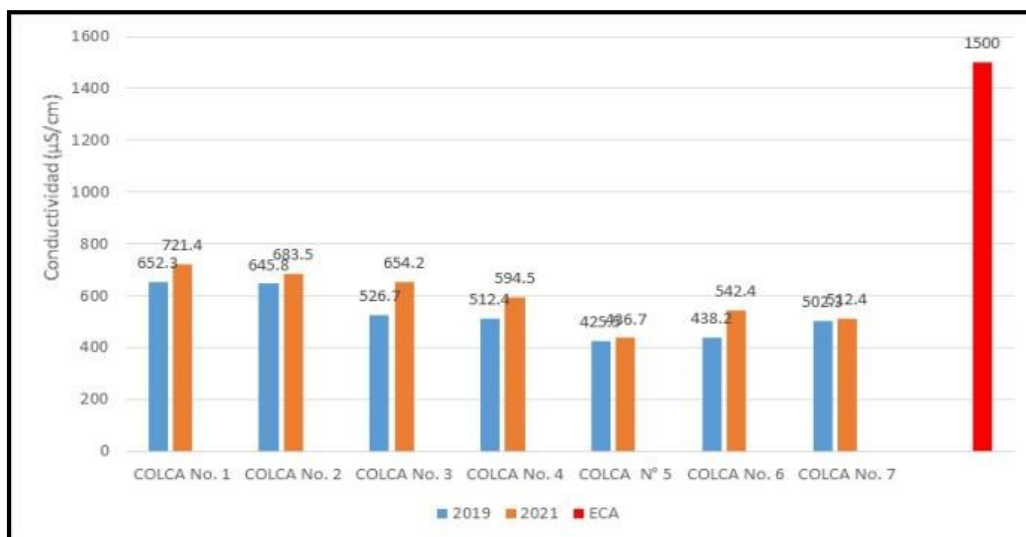
La conductividad representa la cantidad de sales que se encuentran en estado ionizado y se referencia justamente al contenido de las mencionadas sales y que tienen efectos sobre los seres vivos y otros componentes del ecosistema acuático; el ECA de agua (D.S. 004-2017-MINAM) determina un valor límite de 2500  $\mu\text{S/cm}$

**Tabla N° 7:**

*Valores de conductividad tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca*

ESTACION DE MONITOREO	REFERENCIA	2019 $\mu\text{S/cm}$	2021 $\mu\text{S/cm}$
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquipa	652.3	721.4
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callali; antes de rio Colca	645.8	683.5
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	526.7	654.2
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	512.4	594.5
COLCA No. 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	425.5	436.7
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	438.2	542.4
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	502.3	512.4
ECA*	2500		

\* Estándar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM



**Figura No. 19:** *Valores de conductividad tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA*

La tabla y figura anterior muestran los valores de conductividad tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas para el río Colca y a pesar que los valores del año 2021 se encuentran ligeramente por encima de los de 2019 todos son significativamente menores a los establecidos por el estándar de calidad ambiental para agua (D.S. 004-2017-MINAM).

### 3.3.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

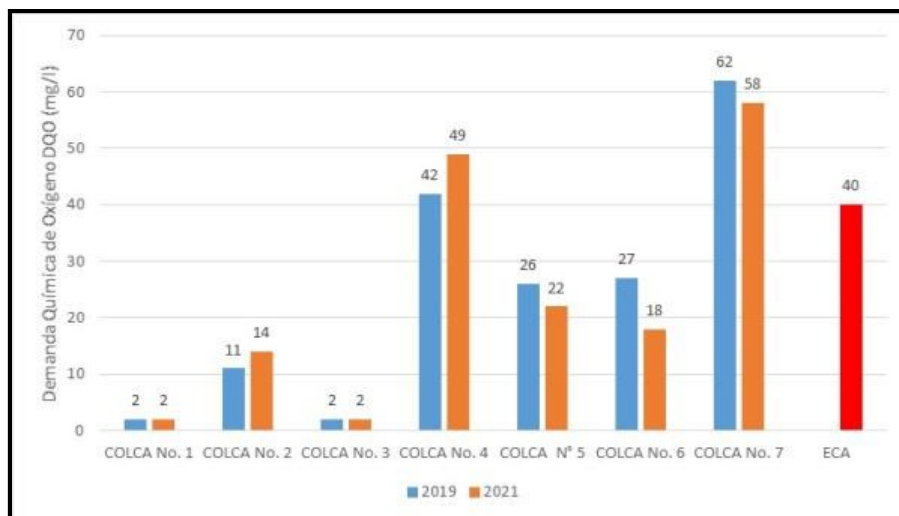
Si bien es cierto este parámetro representa directamente la cantidad de cromo hexavalente que se reduce a cromo Tri Valente por presencia de materia orgánica; es diseñado en realidad para determinar de manera indirecta la cantidad de materia orgánica presente en el agua, corresponde a un equivalente a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), en este caso representa la cantidad de materia orgánica que es desintegrada por bacterias y los propios procesos de descomposición de la misma, en presencia de agua con oxígeno; esta prueba es bastante complicada de desarrollar debido a las distancias que se tienen desde el lugar donde se toma la muestra hasta los laboratorios en los cuales debe desarrollarse ya que el proceso de descomposición (duración de la prueba) es de cinco días, en cambio la demanda química de oxígeno a través de la aplicación de Kits desarrollados por empresas especializadas permiten la ejecución de la prueba en campo si bien es cierto con una demora de alrededor de dos horas, pero la hace más factible y de mayor precisión.

#### Tabla N° 8:

*Valores de demanda química de oxígeno (DQO) tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca*

ESTACION DE MONITOREO	REFERENCIA	2019 mg/l	2021 mg/l
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquipa	2	2
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callali; antes de rio Colca	11	14
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	2	2
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	42	49
COLCA No. 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	26	22
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	27	18
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	62	58
ECA*	40		

\* Estándar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM



**Figura No. 20:** Valores de demanda química de oxígeno tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA

La tabla y la figura anterior muestran los valores de demanda química de oxígeno tomadas en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en los años 2019 y 2021, se observa como en el caso de las estaciones Colca No. 4 y Colca No. 7 los valores de demanda química de oxígeno superan el estándar de calidad ambiental para agua (D.S. 004-2017-MINAM); en el caso de la estación Colca No. 4, se encuentran por debajo del distrito de Sibayo, pero también recibe la influencia del distrito de Callalli, lo que podría estar representando la presencia de materia fecal (materia orgánica), por el vertimiento de aguas residuales; en el caso de la estación Colca No. 7 donde se aprecian los valores más altos de demanda química de oxígeno, se puede inferir que es como consecuencia de los vertimientos recibidos de los distritos de Chivay, Yanque, Ichupampa y otros, los cuales generan contaminación por acumulación de materia orgánica en el cuerpo de agua.

Por otro lado, llama la atención también como en las dos estaciones extremas, es decir, Colca No. 1 y Colca No. 3 se reportan los valores más bajos de demanda química de oxígeno corroborándose lo indicado por Rezaie-Balf y Col (2020), el cual menciona que deben considerarse como blancos al no ser afectados por impactos antropogénicos significativos.

### 3.3.5. Sólidos totales disueltos (STD)

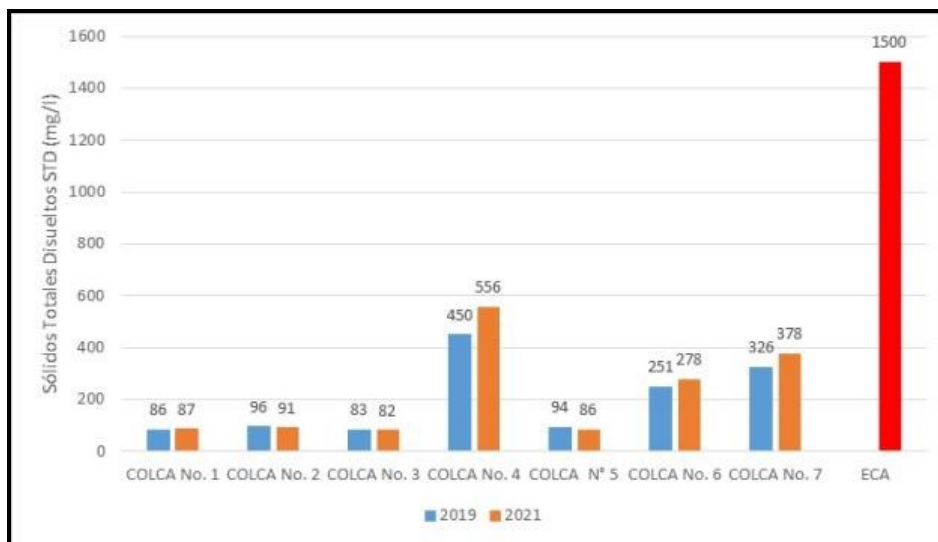
El parámetro de sólidos totales disueltos se relaciona con la cantidad de solutos que está arrastrando el agua del río, y esto tiene que ver con varios factores, como son la velocidad del agua relacionado con la temporalidad del año, la pendiente del río relacionada con su geomorfología, el caudal del río que también se encuentran relacionado con la temporalidad, en este caso los monitoreos han sido llevados a cabo durante la época de menor caudal, que según Zotou y Col (2018); Ulloa y Col. (2021), establecen que es la época donde los elementos contaminantes generan mayor impacto sobre el río, y por lo tanto la época óptima para llevar a cabo los monitoreos que buscan como objetivo la vigilancia y la alerta temprana.

#### Tabla N° 9:

*Valores de sólidos totales disueltos (STD) tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca*

ESTACION DE MONITOREO	REFERENCIA	2019 mg/l	2021 mg/l
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquipa	86	87
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callali; antes de rio Colca	96	91
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	83	82
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	450	556
COLCA N° 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	94	86
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	251	278
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	326	378
ECA*	1500		

\* Estándar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM



**Figura No. 21:** Valores de solidos totales disueltos tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA

Al observar la tabla y figura anterior, lo primero que se debe establecer es que los valores de solidos totales disueltos se encuentran bastante por debajo de lo establecido en el estándar de calidad ambiental para agua (D.S. 004-2017-MINAM), sin embargo, se debe notar algunos detalles, primero que el valor más bajo no corresponde a la estación Colca No. 1 ni Colca No. 3, como debiera establecerse para las denominadas estaciones blanco (Rezaie-Balf et. al., 2020), sino más bien la estación Colca No. 5, que corresponde a la bocatoma de Tuti; en este punto se debe recordar que la estación de monitoreo se encuentra en un embalse de agua en el cual la velocidad, caudal, y otros factores deben unificar activamente reducidos por el dique de la derivadora ya que hace que la mayor cantidad de material que es arrastrado por el agua precipite hacia el fondo; luego de esta estación si se observa los menores valores en Colca No. 1 y Colca No. 3, lo cual nos indicaría que estos serían los valores blancos para el río Colca.

### 3.3.6. Oxígeno disuelto (OD)

Se debe mencionar que en el caso del parámetro oxígeno disuelto entre mayor sea la concentración de esta sustancia mejor es la calidad de agua presente, situación que es inversa a la mayor parte de los parámetros considerados, así el límite establecido para el oxígeno

disuelto a través del estándar de calidad ambiental para agua corresponde al valor de 4 mg/l; considerando en incumplimiento aquellos valores menores de 4.

El oxígeno disuelto es fundamental para el desarrollo de los organismos vivos acuáticos, los cuales respiran a través de branquias; cuando existe una elevada cantidad de materia orgánica, esta consume el oxígeno disuelto en su proceso de estabilización, dejando sin la cantidad necesaria a los organismos acuáticos mencionados, proceso conocido con el nombre de eutrofización; por lo tanto, el oxígeno disuelto también corresponde a un indicador del nivel de contaminación por materia orgánica.

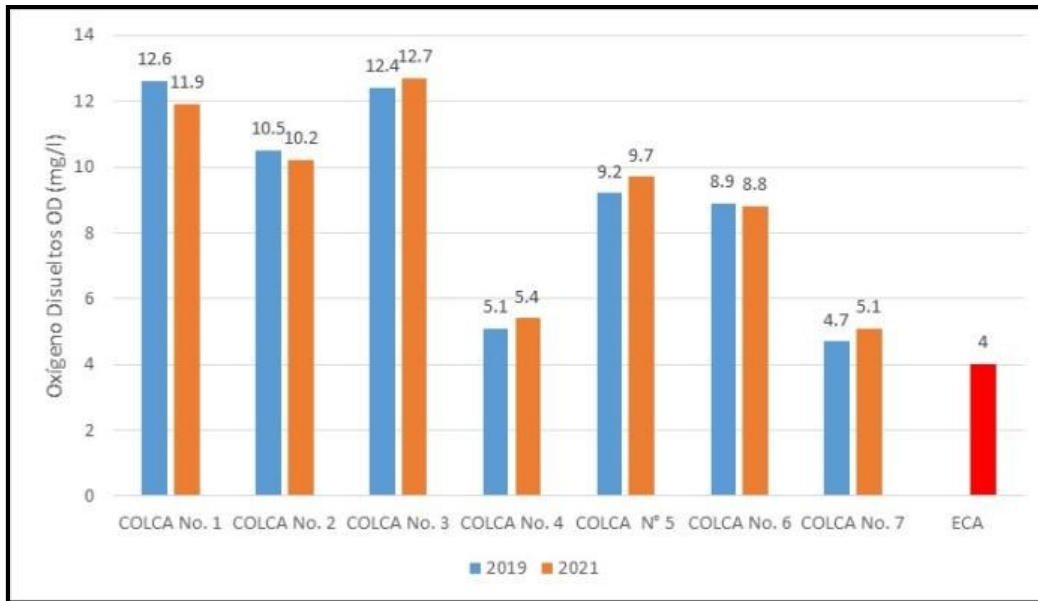
**Tabla N° 10:**

*Valores de oxígeno disuelto (OD) tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca*

<b>ESTACION DE MONITOREO</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>2019 mg/l</b>	<b>2021 mg/l</b>
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquipa	12.6	11.9
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callali; antes de rio Colca	10.5	10.2
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	12.4	12.7
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	5.1	5.4
COLCA No. 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	9.2	9.7
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	8.9	8.8
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	4.7	5.1
ECA*	< 4		

\* Estándar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM





**Figura No. 22:** Valores de oxígeno disuelto tomados en cada una de las estaciones de monitoreo propuestas en el río Colca comparados con el ECA

Cómo se observa en la tabla y figura anterior los valores de oxígeno disuelto obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo cumplen con el estándar de calidad ambiental para agua (D.S. 004-2017-MINAM), Sin embargo, se observan variaciones y de cierta manera la recuperación en los valores del mismo; es entendible que en la estación Colca No. 1 y Colca No. 3 se tengan los valores más altos por ser las estaciones blanco (Rezaie-Balf et. al., 2020), pero luego los valores disminuyen hacia la estación Colca No. 4, se debe contar en este punto que el desplazamiento natural del agua en el cauce del río debido fundamentalmente a la pendiente genera un efecto de dilución del oxígeno atmosférico el cual se encuentra en una proporción del 20% del total en el agua; en otras palabras, se produce una recuperación del oxígeno disuelto a medida que existe desplazamiento de la masa de agua en el río.

### 3.4. Aplicación del índice simplificado de calidad de agua ISQA

Se aplica el índice simplificado de calidad de agua (ISQA), para dar facilidad a la población que no tiene preparación en conocimientos fisicoquímicos y otros de entender el nivel de calidad que tiene este recurso que se encuentran a su alcance; el presente índice es

reportado por Kachroud y Col. (2019), sin embargo, presenta diversas versiones; para el presente trabajo se ha utilizado la que se menciona continuación:

$$ISQA = E * (A + B + C + D)$$

Dónde: ISQA = Índice Simplificado de Calidad de Aguas

E = Temperatura

A = Demanda Química de Oxígeno

B = Sólidos Totales Disueltos

C = Oxígeno Disuelto

D = Conductividad

El método establece que cada uno de los parámetros tiene que ser ajustado de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla N° 11:**

*Componentes y cálculos de Índice Simplificado de Calidad de Aguas ISQA*

Parámetro	Notación	Cálculo
Temperatura	E	E = 1 si T ≤ 20 °C E = 1(T-20)* 0.0125 si T > 20°C
Demanda Química de Oxígeno	A	A = 30 – DQO si DQO ≤ 20 mg/l A = 21-(035*DQO) si 120 mg/l ≥ DQO > 20 mg/l A = 0 si DQO > 120 mg/l
Sólidos Totales Disueltos	B	B = 25 - (0,15 * DST) si DST ≤ 100 mg/L B = 17 - (0,07 * DST) si 250 mg/L ≥ DST > 100 mg/L B = 0 si DST > 250 mg/L
Oxígeno Disuelto	C	C = 2,5 * O2 si O2 < 10 mg/L C = 25 si O2 ≥ 10 mg/L
Conductividad	D	D = (3,6 - log CE) * 15,4 si CE ≤ 4000 μS/cm D = 0 si CE > 4000 μS/cm

Fuente: Kachroud y Col. (2019)

El ISQA se encuentran entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima).

Luego del cálculo del índice va a quedar definido a través de palabras y/o colores para lo cual se utiliza la siguiente tabla.

**Tabla N° 12:**

*Escala de valores y calificaciones del indicador de calidad de aguas*

VALOR DE INDICE	CLASIFICACION	ESCALA DE COLOR
0 -25	Calidad muy mala	rojo
26 -50	Calidad mala	naranja
51 - 70	Calidad media	amarillo
71 - 90	Calidad Buena	verde
91 - 100	Calidad excelente	azul

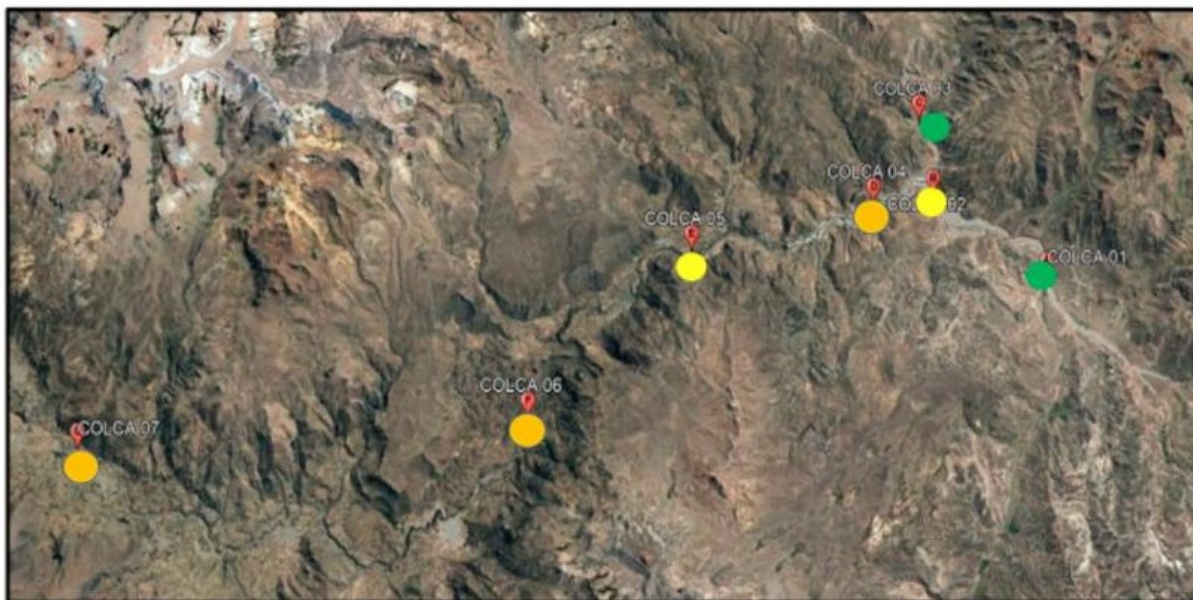
**Fuente: Kachroud y Col. (2019)**

A través de los cálculos se obtiene un valor numérico adimensional que incluye los valores de cada uno de los parámetros considerados para el cálculo del índice

**Tabla N° 13:**

*Índices simplificados de calidad de Agua para cada estación de Monitoreo*

ESTACION DE MONITOREO	REFERENCIA	2019	2021	Calificación
COLCA No. 1	Rio Pulpera, Antes de Callali; luego de planta de Calquipa	78.20	77.37	buena
COLCA No. 2	Rio Pulpera, Luego de Callalli; antes de rio Colca	67.76	65.14	media
COLCA No. 3	Rio Colca; antes de Sibayo	80.08	78.78	buena
COLCA No. 4	Rio Colca; después de sibayo	33.76	31.07	mala
COLCA No. 5	Rio Colca; antes de bocatoma de Tuti	61.75	65.43	media
COLCA No. 6	Rio Colca; antes de Chivay	49.56	48.33	mala
COLCA No. 7	Rio Colca; entre Ichupampa y Lari	26.40	28.16	mala



**Figura No. 23:** *Índices simplificados de calidad de Agua para cada estación de Monitoreo; los colores representan la calificación*

La tabla y la figura anterior muestran los resultados de los índices simplificado de calidad de agua calculados para cada una de las estaciones de monitoreo consideradas; se debe mencionar que en el cálculo de estos índices no se toman en cuenta los valores establecidos para los estándares de calidad ambiental de agua (D.S. 004-2017-MINAM); más bien, cada uno de los parámetros considerados son agregados en un solo índice aportándoles factores que determinan la importancia del mismo como indicador de la calidad de agua, (Kachroud et. al. 2019), los resultados se muestran de manera nominal, es decir, calidad muy mala, calidad mala, calidad media, calidad buena, calidad muy buena; pero también en una escala cromática donde color azul representa la calidad muy buena y el color rojo la calidad muy mala; justamente en la figura incluye círculos en los cuales se ha colocado la coloración correspondiente a la calidad de agua identificada para cada una de las estaciones de monitoreo.

Se observa cómo se ha obtenido una calificación de calidad buena para la estación de monitoreo Colca No. 1 y Colca No. 3 lo cual válida también lo establecido por Rezaie-Balf y Col. (2020) respecto a las estaciones blanco; la estación Colca No. 2 ha sido calificada como calidad media, disminuyendo su calificación con la estación anterior, probablemente por efecto de los

efluentes del distrito de Callalli; además la estación Colca No. 3 también ha sido calificada como una calidad media, lo cual tiene importancia por tratarse de la bocatoma de Tuti; luego de ellos todas las demás estaciones de monitoreo presentan una calificación de mala calidad de agua, de hecho, uno de los mayores problemas corresponde a los vertimientos de las aguas residuales domésticas directamente al río en cada uno de los distritos sobre los cuales discurre el río Colca.

## CONCLUSIONES

**Primera.-** Se establece una red de monitoreo para la determinación de la calidad de agua en la cabecera del río Colca con los objetivos de establecer un sistema de información para el manejo recursos hídricos, y tener un sistema de alerta temprana para evaluar la contaminación ambiental en la corriente de agua; se determinan siete estaciones de monitoreo, de las cuales dos corresponden a los extremos superiores de la cuenca una hacia el río Pulpera y el otro hacia el río Colca aguas arriba del distrito de Sibayo.

**Segunda.-** Se llevan a cabo mediciones de parámetros en la siete estaciones de monitoreo determinadas, las cuales son: temperatura, pH, conductividad, demanda química de oxígeno, sólidos totales en suspensión y oxígeno disuelto; las mediciones de los parámetros se llevan a cabo en el año 2019 y 2021; con los valores resultantes se aplica el índice simplificado de calidad de agua (ISQA), resultando que las estaciones de mayor altura en el río Pulpera y Colca tienen una calificación de calidad buena; mientras que la estación denominada Colca No. 2 y la Colca No. 5 tuvieron una calificación de calidad regular; el resto de las estaciones de monitoreo son calificadas como mala calidad de agua.

## **RECOMENDACIONES**

- Desarrollar un estudio técnico económico para establecer la factibilidad y la frecuencia de monitoreo al realizarse, sin embargo, se puede recomendar que se tome en consideración los períodos estacionales en el recurso hídrico para establecer esta frecuencia mínima, es decir, que se realice un monitoreo de una vez, en los meses de avenida y otra en los meses de estiaje.
- Difundir la interpretación del método del índice simplificado de calidad de agua dentro de la población para que pueda entender los resultados reportados de calidad de agua que emiten entidades como la Autoridad Nacional de Agua y otras que serán las encargadas de realizar los monitoreos.
- Considerar también el desarrollo de monitoreos microbiológicos para complementar la información respecto a los monitoreos fisicoquímicos realizados

## BIBLIOGRAFIA

- Administración Local de agua Moquegua. (2014). Quinto monitoreo participativo de calidad de agua superficial de la cuenca Moquegua - Ilo. Moquegua.
- Araujo, R., Deza, N., & Bopp, G. (2018). Evaluación Rápida con Bioindicadores Bénticos de la Calidad Ambiental del Río Jadibamba (Cajamarca-Perú). *REBIOL*, 38(1), 17-29.
- Alilou, H., Nia, A. M., Keshtkar, H., Han, D., & Bray, M. (2018). A cost-effective and efficient framework to determine water quality monitoring network locations. *Science of the total environment*, 624, 283-293.
- Chugden, S. M. R. (2021). Calidad de agua de la microcuenca Lluchca, Amazonas, Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 15-21.
- Dirección Regional de Salud. (2007). Ministerio de Salud. Recuperado el 23 de 10 de 2016, de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes\\_tecnicos/PROTOCOLOMONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLOMONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)
- Dirección Regional de Salud. (2010). Fosfatos. Recuperado el 16 de Enero de 2016, de [http://www.digesa.sld.pe/depa/informes\\_tecnicos/grupo%20de%20uso%201.pdf](http://www.digesa.sld.pe/depa/informes_tecnicos/grupo%20de%20uso%201.pdf)
- Dirección Regional de Salud. (2014). Enfermeades Diarreicas Aguas (EDA). Recuperado el 07 de 01 de 2016, de <http://saludmoquegua.gob.pe/> Dirección Regional de Salud. (2015).
- Espinosa Ramírez, A. J. (2018). El agua, un reto para la salud pública: la calidad del agua y las oportunidades para la vigilancia en salud ambiental. Doctorado Interfacultades en Salud Pública. Universidad Nacional de Colombia
- Flores Rojas, D., & Huamantínco Araujo, A. (2017). Desarrollo de una herramienta de vigilancia ambiental ciudadana basada en macroinvertebrados bentónicos en la Cuenca del Jequetepeque (Cajamarca, Perú). *Ecología Aplicada*, 16(2), 105-114.
- Gautam, S. K., Evangelos, T., Singh, S. K., Tripathi, J. K., & Singh, A. K. (2018). Environmental monitoring of water resources with the use of PoS index: a case study from Subarnarekha River basin, India. *Environmental earth sciences*, 77(3), 1-17.



- Gomes, P. I., & Wai, O. W. (2020). Investigation of Long-Term River Water Quality Trends in Hong Kong to Identify Role of Urbanization, Seasons and Pollution Sources. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(7), 1-15.
- Godfrid, J., Damonte, G., & López-Minchán, A. P. (2021). Innovaciones institucionales en contextos mineros: la experiencia de monitoreos comunitarios del agua en Argentina y Perú. *Revista de ciencia política (Santiago)*, (AHEAD).
- INEI (2018) Censo Nacional VII de Población VII de Vivienda; Instituto Nacional de Estadística e Informática , Lima
- Ismail, A. H., & Robescu, D. (2019). Assessment of water quality of the Danube river using water quality indices technique. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(8), 1727-1737.
- Kachroud, M., Trolard, F., Kefi, M., Jebari, S., & Bourrié, G. (2019). Water quality indices: Challenges and application limits in the literature. *Water*, 11(2), 361.
- Kim, J., Jeong, H., Kim, H., Kim, Y., & Yang, D. (2020). A non-parametric trend analysis of water quality using water environment network data in Nakdong river. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 29(1), 61-77.
- Ministerio del Ambiente (2017) Estadar de calidad ambiental para agua D.S. 004-2017-MINAM
- Mite, R. B., Ochoa, L. S., Osorio, B. G., Suatunce, P., Ocampo, E. D., & Arevalo, L. C. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador/Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109-117.
- Reglamento de la ley de recursos hídricos, N° 29338. Recuperado el 03 de 07 de 2016, de [www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/ley\\_29338\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/ley_29338_0.pdf) Chávez Martines, L. (2015). Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonos en Coatzintla. Veracruz.
- Rezaie-Balf, M., Attar, N. F., Mohammadzadeh, A., Murti, M. A., Ahmed, A. N., Fai, C. M., ... & El-Shafie, A. (2020). Physicochemical parameters data assimilation for efficient improvement

- of water quality index prediction: Comparative assessment of a noise suppression hybridization approach. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122576.
- Silupu, J. W. E., Luis, C. A. A., & Obando, J. M. (2020). Calidad bacteriológica del agua para consumo humano y enfermedad diarreica aguda en el Distrito de Rázuri. Provincia de Ascope. La Libertad-Perú. *PURIQ*, 2(1).
- Tomsett, C., & Leyland, J. (2019). Remote sensing of river corridors: A review of current trends and future directions. *River Research and Applications*, 35(7), 779-803
- Toledo, A. Z. (2017). Retos y alternativas de la gestión local del agua en la periferia urbana de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, 15(2), 126-139.
- Torres, A., Antonio, L. (2017). Impacto de la calidad de agua para consumo humano en la salud de la población del cantón Penipe, provincia de Chimborazo (Master's thesis).
- Ulloa, A., Godfrid, J., Damonte, G., Quiroga, C., & López, A. P. (2021). Monitoreos hídricos comunitarios: conocimientos locales como defensa territorial y ambiental en Argentina, Perú y Colombia. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, (69), 77-97.
- Wilson, N. J., Mutter, E., Inkster, J., & Satterfield, T. (2018). Community-Based Monitoring as the practice of Indigenous governance: A case study of Indigenous-led water quality monitoring in the Yukon River Basin. *Journal of Environmental Management*, 210, 290-298.
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2018). Comparative assessment of various water quality indices (WQIs) in Polyphytos Reservoir-Aliakmon River, Greece. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 2, No. 11, p. 611).