



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL
BASADA EN MONITOREOS DE LA UNIDAD MINERA LA ARENA - PERIODO
2018-2023

Línea de investigación:
Condiciones oceanográficas y su impacto en los Recursos hídricos

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor

Gómez Conde, Benigno Adolfo Israel

Asesor

Zamora Talaverano, Noé Sabino

ORCID: 0000-0002-4368-8955

Jurado

Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Gonzales Alarcón, Angelino Oscar

Lima - Perú

2025



"ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL BASADA EN MONITOREOS DE LA UNIDAD MINERA LA ARENA - PERIODO 2018-2023"

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

26%

FUENTES DE INTERNET

11%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL BASADA
EN MONITOREOS DE LA UNIDAD MINERA LA ARENA - PERIODO 2018-2023

Línea de Investigación:

Condiciones oceanográficas y su impacto en los Recursos hídricos

Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Gómez Conde, Benigno Adolfo Israel

Asesor:

Zamora Talaverano, Noé Sabino

ORCID: 0000-0002-4368-8955

Jurado:

Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Gonzales Alarcón, Angelino Oscar

Lima – Perú

2025

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, por su guía y protección constante.

A mis padres, Benigno y Ana, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza y motivación para seguir adelante.

A mi hermana Estefanía, por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino.

Agradecimientos

A Dios, por su guía, por bendecirme cada día y permitirme alcanzar esta meta en mi vida profesional.

A la UNFV, FIGAE y a mis maestros, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente.

Al Dr. Noé Zamora Talaverano, mi asesor, por su tiempo, dedicación y valiosos aportes que direccionaron este proyecto con su conocimiento y experiencia.

A los docentes miembros del jurado de la presente investigación, por sus importantes sugerencias y contribuciones.

A mi familia, quienes son mi mayor soporte y fortaleza, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional.

A todos aquellos que me impulsaron y apoyaron durante esta etapa, mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE

Resumen	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción y formulación del problema.....	2
<i>1.1.1. Descripción del problema</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2. Formulación del problema</i>	<i>5</i>
1.2. Antecedentes	6
<i>1.2.1. Internacionales</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2. Nacionales</i>	<i>9</i>
1.3. Objetivos.....	13
<i>1.3.1. Objetivo general.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i>	<i>13</i>
1.4. Justificación	14
<i>1.4.1. Justificación teórica</i>	<i>14</i>
<i>1.4.2. Justificación práctica</i>	<i>14</i>
<i>1.4.3. Justificación social</i>	<i>14</i>
1.5. Hipótesis	15
<i>1.5.1. Hipótesis general.....</i>	<i>15</i>
<i>1.5.2. Hipótesis específicas</i>	<i>15</i>
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Bases teóricas.....	16

2.1.1. <i>Calidad de agua superficial</i>	16
2.1.2. <i>Parámetros de la calidad del agua</i>	18
2.1.3. <i>Estándares de Calidad del Agua</i>	18
2.1.4. <i>Índice de Calidad de Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales</i>	22
2.1.5. <i>Contaminación del agua</i>	22
2.1.6. <i>Monitoreo ambiental</i>	25
III. METODO	26
3.1. Tipo de investigación.....	26
3.1.1. <i>Nivel de investigación</i>	26
3.1.2. <i>Diseño de la investigación</i>	26
3.2. <i>Ámbito temporal y espacial</i>	26
3.2.1. <i>Ámbito temporal</i>	27
3.2.2. <i>Ámbito espacial</i>	27
3.3. Variables	31
3.3.1. <i>Variables independientes</i>	31
3.3.2. <i>Variable dependiente</i>	31
3.3.3. <i>Operacionalización de variables</i>	31
3.4. Población y muestra.....	33
3.4.1. <i>Población</i>	33
3.4.2. <i>Muestra</i>	33
3.5. Instrumentos.....	33
3.5.1. <i>Informes de monitoreo</i>	33

3.5.2. <i>Software</i>	34
3.6. Procedimientos.....	34
3.6.1. <i>Recopilación de información</i>	34
3.6.2. <i>Organización y tratamiento de la información</i>	35
3.7. Análisis de datos.....	35
3.7.1. <i>Cálculo del ICARHS</i>	36
3.7.2. <i>Escalas de valoración</i>	37
3.7.3. <i>Determinación de subíndices</i>	38
3.8. Consideraciones éticas.....	39
3.8.1. <i>Integridad de la Investigación</i>	39
3.8.2. <i>Confidencialidad y Uso Responsable de Datos</i>	39
3.8.3. <i>Contribución al Conocimiento y a la Práctica Minera</i>	39
IV. RESULTADOS	40
4.1. Cálculo del ICARHS	40
4.2. Variaciones espaciales	47
4.3. Variaciones temporales.....	48
4.3.1. <i>Comportamiento anual</i>	48
4.3.2. <i>Comportamiento mensual</i>	51
4.4. Potenciales fuentes de contaminación.....	56
4.4.1. <i>Variación espacial</i>	56
4.4.2. <i>Variación anual</i>	57
4.4.3. <i>Variación mensual</i>	58

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
VI. CONCLUSIONES.....	65
VII. RECOMENDACIONES	68
VIII. REFERENCIAS	69
IX. ANEXO	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estándares de Calidad Ambiental para Agua	19
Tabla 2 Principales contaminantes del agua	24
Tabla 3 Estaciones de monitoreo de Control y Seguimiento de Agua Superficial.....	28
Tabla 4 Operacionalización de variables	32
Tabla 5 Valoración del ICARHS	38
Tabla 6 Resultados de ICARHS – Por estación de monitoreo	40
Tabla 7 Resultados de ICARHS – Por año	42
Tabla 8 Resultados de ICARHS – Por mes	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de las estaciones de monitoreo.....	30
Figura 2 Respuesta de la OEFA a la solicitud de información	35
Figura 3 ICARHS en Estaciones de Monitoreo por Cuerpo de Agua y Subcuenca hidrográfica	47
Figura 4 Variación anual de los ICARHS en cada estación de monitoreo	50
Figura 5 Variación mensual de los ICARHS en cada estación de monitoreo	52
Figura 6 Actividades de ganadería cercanas a los puntos FRA-01 y FRA-02.....	59
Figura 7 Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual.....	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Matriz de consistencia	75
Anexo B Estándares de Calidad Ambiental Para Agua.....	76
Anexo C Índice de Calidad Ambiental	86

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena durante el periodo 2018-2023, identificando variaciones espaciales y temporales a través de la metodología del Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) y posibles fuentes de contaminación. Se analizaron datos de 17 estaciones de monitoreo, mostrando que el índice varió entre “excelente” y “malo”, sin alcanzar la categoría “pésima”. A nivel espacial, el análisis detallado evidenció que el 52.94% de los resultados fueron “excelentes”, el 29.41% “regulares”, el 11.76% “buenos” y el 5.88% “malos”. La subcuenca del río Yamobamba registró las calidades más bajas, afectada principalmente por actividades mineras activas y pasivos mineros no rehabilitados, mientras que en la quebrada Sayapamba los elevados niveles de metales se atribuyeron a la naturaleza del material parental y afloramientos mineralizados. Por otro lado, a nivel temporal, se observaron fluctuaciones anuales y mensuales: un 47.06% de las estaciones mantuvo una calidad excelente durante todo el período, un 29.41% evidenció recuperación progresiva y un 23.53% mostró tendencias de mejora continua, considerando que, en términos generales, la calidad del agua mejoró durante el periodo de evaluación. Mensualmente, un 41.18% de las estaciones tuvo calidad estable, mientras que otras presentaron deterioro durante los meses más secos o lluviosos. Finalmente, las actividades mineras y factores geológicos serían las fuentes predominantes de contaminación.

Palabras Clave: calidad del agua, ICARHS, variación temporal, variación espacial, contaminación, minería.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the surface water quality at the monitoring stations of the La Arena Mining Unit during the period 2018-2023, identifying spatial and temporal variations through the methodology of the Environmental Quality Index of Surface Water Resources (ICARHS) and possible sources of contamination. Data from 17 monitoring stations were analyzed, showing that the index ranged from "excellent" to "poor," without reaching the "very poor" category. Spatially, detailed analysis revealed that 52.94% of the results were "excellent," 29.41% "regular," 11.76% "good," and 5.88% "poor." The Yamobamba River sub-basin recorded the lowest quality levels, mainly affected by active mining activities and unrehabilitated mining liabilities, while in the Sayapamba stream, the elevated levels of metals were attributed to the nature of the parent material and mineralized outcrops. On the other hand, temporally, annual and monthly fluctuations were observed: 47.06% of the stations maintained excellent quality throughout the period, 29.41% showed progressive recovery, and 23.53% exhibited trends of continuous improvement, considering that, overall, water quality improved during the evaluation period. Monthly, 41.18% of the stations had stable quality, while others showed deterioration during the driest or rainiest months. Finally, mining activities and geological factors were identified as the predominant sources of contamination.

Keywords: water quality, ICARHS, temporal variation, spatial variation, contamination, mining.

I. INTRODUCCIÓN

Según las Naciones Unidas, se prevé que la población mundial alcance la cifra de 9700 millones en 2050. Este aumento poblacional incrementará la demanda sobre los recursos naturales, incluyendo el agua dulce, esencial para la salud humana, la agricultura y las actividades industriales. En consecuencia, la necesidad de asegurar prácticas sostenibles de gestión del agua es más crítica que nunca. El monitoreo y mantenimiento de la calidad del agua son componentes fundamentales de estas prácticas, especialmente en lugares donde se desarrollan actividades mineras, ya que estas pueden ser fuentes potenciales de contaminación que afectan los cuerpos de agua superficial.

La evaluación de la calidad del agua superficial es un proceso esencial que implica el análisis de diversos parámetros para determinar el impacto de factores naturales y antropogénicos en los ecosistemas acuáticos. En el contexto de la Unidad Minera La Arena, situada en la Cordillera Occidental de los Andes en Perú, se ha establecido el monitoreo del agua superficial como parte de sus compromisos ambientales, asegurando el cumplimiento de estándares de calidad del agua. Este estudio se centra en evaluar el Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en 17 estaciones de monitoreo para identificar variaciones espaciales y temporales durante seis años (2018-2023). Comprender estos patrones es crucial para detectar cambios, identificar fuentes potenciales de contaminación y desarrollar estrategias para la protección de los recursos hídricos.

La estructura de esta investigación se organiza en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I se detallan los aspectos metodológicos, cubriendo los antecedentes internacionales y nacionales, incluyendo artículos de investigación y tesis sobre la calidad del agua superficial y la evaluación ambiental. También se presenta la descripción del problema,

los objetivos, hipótesis, variables dependientes e independientes, justificación y los alcances y limitaciones del estudio.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico, definiendo conceptos clave relacionados con la calidad del agua superficial, las fuentes de contaminación, los índices de calidad del agua (ICARHS) y las prácticas de monitoreo ambiental.

En el Capítulo III se describe la metodología, incluyendo el tipo de investigación, el ámbito del estudio, las variables, la población y muestra, los instrumentos y herramientas utilizadas, los procedimientos de recopilación de datos y las consideraciones éticas. Este capítulo también detalla el proceso para calcular el ICARHS, el análisis de datos y la evaluación de variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua superficial.

El Capítulo IV presenta los resultados, incluyendo el cálculo del ICARHS para cada estación de monitoreo, la identificación de variaciones espaciales y temporales, y la evaluación de fuentes potenciales de contaminación.

Finalmente, los Capítulos V, VI y VII abordan la discusión de resultados, las conclusiones para cada objetivo específico, las recomendaciones para mejorar la gestión de la calidad del agua y las referencias, respectivamente.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

El agua es el recurso natural más importante y transversal que tenemos. Cumple un rol fundamental en todas las áreas del desarrollo, como la reducción de la pobreza, la salud pública y la higiene, la agricultura, la seguridad alimentaria, el medioambiente, la generación de energía, así como en la ordenación del territorio y la planificación urbana. Además, el agua resulta esencial para el progreso económico, por lo que gestionar los riesgos de exceso, escasez

y contaminación, junto con promover la conservación de los ecosistemas, es clave para garantizar el bienestar de las personas (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2021)

Asimismo, con la minería siendo un pilar económico vital, el Perú destaca como un país minero clave. En ese sentido, frente a los retos de sostenibilidad ambiental, el país se ve obligado a dirigir su mirada hacia una gestión de recursos naturales más sostenible y transparente. La industria se enfrenta a desafíos crecientes por el acceso al agua, potenciados por el cambio climático y la demanda de otros sectores. En ese sentido, se busca promover, a nivel nacional e internacional, el reconocimiento del agua como un recurso valioso, fomentando estándares de uso responsable y transparencia (Lewinsohn, 2020).

El papel del agua en la minería y su relación con las comunidades cercanas es crucial, pero no ha sido ampliamente investigado. El agua es el nexo principal entre las operaciones mineras y las comunidades situadas río abajo. No es posible considerar la existencia de la minería sin reconocer su impacto en la calidad, disponibilidad y manejo del agua. Esta relación suele reflejar injusticias. Sin embargo, también es un campo para la acción y organización política, ofreciendo así oportunidades para el cambio y la mejora (Perreault et al., 2014).

El seguimiento de la calidad de las aguas superficiales es crucial para comprender la situación actual de los recursos hídricos y los cambios que se han producido con el tiempo. Esto permite detectar patrones y tendencias en las cuencas hidrográficas tanto temporal como espacialmente y el seguimiento sistemático de los recursos hídricos facilita la planificación de acciones de mejora, la detección de descargas no autorizadas, el apoyo a la supervisión, el otorgamiento de permisos ambientales y el desarrollo de políticas ambientales (Calazans, 2015). Es esencial desarrollar programas de monitoreo de la calidad del agua como parte de las estrategias de control de la contaminación de los recursos hídricos. Esto implica establecer redes de monitoreo representativas y la recopilación sistemática de muestras para analizar sus

propiedades, ya que con ello se logra una comprensión detallada de la calidad del agua y se pueden identificar las influencias tanto naturales como antrópicas que podrían alterarla (Asadollahfardi, 2000).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es un valor único que expresa la calidad del agua al combinar mediciones de diversos parámetros como oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, amoníaco, cloruros, dureza y metales. Un puntaje más alto indica mejor calidad del agua (excelente o buena), mientras que un puntaje más bajo señala una calidad degradada (mala o pobre). El ICA proporciona un método simple y conciso para evaluar y comunicar el estado de los cuerpos de agua para diversos usos, como recreación, consumo humano, riego o preservación de la vida acuática. Su importancia radica en facilitar la interpretación y gestión de los recursos hídricos, siendo reconocido como una herramienta esencial en las políticas ambientales y en la toma de decisiones (Lumb et al., 2011).

Las actividades mineras pueden impactar significativamente la calidad del agua superficial debido a la liberación de contaminantes como metales pesados, sedimentos y sustancias químicas utilizadas en los procesos extractivos. El uso del ICA es fundamental para identificar y cuantificar estos impactos, proporcionando información clave para la implementación de medidas de mitigación y la toma de decisiones informadas en materia ambiental.

La Unidad Minera La Arena, ubicada en la región de La Libertad, es una operación a tajo abierto que ha contribuido al desarrollo económico del país. Sin embargo, es importante realizar una evaluación detallada sobre la calidad de las aguas superficiales cercanas. En ese sentido, este análisis es crucial para identificar tendencias, patrones y posibles fuentes de contaminación, lo que permitirá fortalecer la gestión ambiental y garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la zona.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

- ¿Cómo varía la calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena durante el periodo 2018-2023?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son los valores mensuales, anuales y totales del ICARHS para cada estación en el período 2018-2023?
- ¿Cómo varía espacialmente el ICARHS entre las estaciones de monitoreo durante el periodo 2018-2023?
- ¿Qué tendencias temporales muestra el ICARHS en cada estación durante el periodo 2018-2023?
- ¿Cuáles son las posibles causas que explican la variación del ICARHS durante el período 2018-2023?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Internacionales

Dzhangi y Atangana (2022) en su investigación titulada "Evaluación del impacto de la minería de carbón en el agua superficial en Boesmanspruit, Mpumalanga, Sudáfrica", se centraron en evaluar el estado actual de la calidad del agua en el río Boesmanspruit, ubicado en una zona afectada por la minería de carbón en Mpumalanga, Sudáfrica. El objetivo fue determinar cómo las actividades mineras impactan la calidad del agua superficial y sus implicaciones ambientales y socioeconómicas para el suministro de agua dulce en el país. Se utilizaron datos históricos de calidad del agua recopilados durante cinco años (2017-2021), considerando diez variables seleccionadas: aluminio, calcio, hierro, manganeso, magnesio, sodio, sulfato, conductividad eléctrica, pH y sólidos disueltos totales. La metodología incluyó la comparación de los datos con los objetivos de calidad de los recursos de Sudáfrica, las guías de calidad del agua sudafricanas y el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME-WQI). Además, se aplicaron el Índice de Contaminación Integral (CPI) y análisis estadísticos multivariantes. El CCME-WQI mostró que las estaciones de monitoreo GRS26 y GRS21, cercanas a las actividades mineras, presentaban una calidad de agua "pobre" con valores entre 40 y 44. Los resultados obtenidos del CCME-WQI y del CPI indicaron que los puntos ubicados aguas abajo de las actividades mineras presentaban niveles más altos de contaminación en contraste con las áreas situadas más alejadas de estas operaciones. Finalmente, el uso de herramientas multivariantes permitió identificar las fuentes de contaminación naturales y antropogénicas en la zona. Se determinó que elementos como conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, calcio, magnesio, sodio, sulfato y manganeso en el Boesmanspruit se atribuyen a la industria minera, mientras que el pH, hierro y aluminio provienen de la meteorización del suelo local y las rocas.

Lamare y Singh (2016) en su investigación titulada "Aplicación del Índice de Calidad del Agua CCME en la Evaluación del Estado de la Calidad del Agua en el Área de Minería de Caliza de Meghalaya, India", se centraron en evaluar la calidad del agua en el área de minería de caliza de Meghalaya, India, utilizando el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI). El objetivo fue proporcionar una comprensión simplificada del estado de salud de los cuerpos de agua para el público en general. Se recopilaron datos de cinco sitios de muestreo ubicados cerca de operaciones de minería de caliza y plantas de cemento en East Jaintia Hills, Meghalaya. Los parámetros analizados incluyeron pH, conductividad eléctrica, turbidez, alcalinidad total, dureza total, calcio, magnesio, sulfato, cloruro y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Los valores del CCME WQI obtenidos oscilaron entre 0 y 100, indicando desde una calidad de agua "pésima" hasta "excelente". Los sitios cercanos a la minería de caliza (Estaciones 1, 2 y 3) presentaron índices de 91.83, 66.04 y 62.60, reflejando una calidad de agua de "buena" a "regular". Por otro lado, las estaciones cercanas a las plantas de cemento (Estaciones 4 y 5) mostraron índices de 33.34 y 30.34, clasificando la calidad del agua como "pésima". Esta degradación se atribuyó a niveles elevados de conductividad eléctrica, turbidez, sulfato, dureza total y calcio. El estudio concluyó que las actividades de las plantas de cemento tienen un impacto más significativo en el deterioro de la calidad del agua que la minería de caliza. La aplicación del CCME WQI permitió identificar áreas críticas y resaltar la necesidad de gestionar adecuadamente los recursos hídricos en la región.

Pandit et al. (2023) en su investigación titulada "Variaciones Espaciotemporales en la Calidad del Agua del Río Transfronterizo Shari-Goyain, Bangladesh", indagaron las variaciones estacionales y espaciales de los parámetros de calidad del agua y determinaron las principales fuentes de contaminación en el río Shari-Goyain, un río transfronterizo de gran importancia económica y ecológica en Bangladesh. Se tomaron muestras mensuales de agua superficial en seis sitios de muestreo, evaluando seis parámetros de calidad del agua. Los datos se analizaron utilizando el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI) y métodos estadísticos multivariantes. Los resultados revelaron que la mayoría de los parámetros examinados excedieron los rangos aceptados, observándose variaciones espaciales y temporales significativas ($p < 0.05$). Según el CCME WQI, la calidad del agua del río se clasificó como "pésima" a "mala", con puntajes entre 33.40 y 51.30, lo que indica que la calidad del agua está lejos de ser óptima para la vida acuática y está siendo afectada negativamente por factores externos. El análisis de componentes principales (ACP) identificó dos componentes que explican aproximadamente el 79.17% de la varianza total, señalando fuentes de contaminación ácida. El análisis de conglomerados también reveló diferencias relativas en la calidad del agua entre sitios y estaciones, respaldando los hallazgos del CCME WQI y el ACP. Finalmente, el análisis de Kruskal-Wallis identificó el drenaje de minas de carbón (CMD) como la principal fuente de contaminación en el río Shari-Goyain.

1.2.2. Nacionales

Teves (2022) en su estudio “Comportamiento espacio temporal de Índice de Calidad del Agua en la cuenca del río Ilave”, analizo el comportamiento espaciotemporal de la calidad del agua en la cuenca del río Ilave, ubicada en la región altiplánica del Perú, usando el Índice de Calidad de Agua de Perú (ICA-PE). Esta investigación abarcó un periodo de seis años, desde 2015 hasta 2020, durante el cual se evaluaron 10 puntos de monitoreo estratégicamente seleccionados (Rchil., Rcond., Rmall., R. Grand3., R.chic., R.huen1., R.Huen., RIlav0., RIlav3. y RIlav4) en dos épocas del año: estiaje y época húmeda. La metodología incluyó el análisis de 14 parámetros fisicoquímicos y biológicos, tales como pH, conductividad eléctrica, fósforo, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y metales pesados, entre ellos arsénico, cadmio y cobre. Los resultados obtenidos fueron comparados con la categorización de cuerpos de agua emitida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aprobados por el D.S. N.º 004-2017-MINAM. El análisis del ICA-PE reveló que la calidad del agua en la cuenca del río Ilave es predominantemente "buena" en las categorías 3-D1, 4-E2 y 1-A2, con la excepción del punto de monitoreo R. Cond., donde la calidad fue clasificada como "regular" debido a los vertimientos de aguas residuales que influyen negativamente en esta área específica. En términos generales, se concluye que la calidad del agua a lo largo del río Ilave es "buena", con una calidad superior en las zonas de corriente arriba y corriente abajo en comparación con las áreas intermedias del río. Además, se observó que, con relación a la variabilidad estacional, la calidad del agua es mejor durante la época húmeda. Estos hallazgos resaltan la importancia de un monitoreo continuo y detallado para gestionar eficazmente los recursos hídricos de la región.

Salas y Segura (2022) en su investigación titulada “Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en la Minería Legal e Ilegal, Ayacucho-Arequipa, 2017 – 2021”, se centró en determinar el Índice de Calidad Ambiental y de Recursos Hídricos en Sectores Mineros (ICARHS) para evaluar y comparar el impacto de las actividades de minería legal e ilegal en las regiones de Ayacucho y Arequipa durante el periodo 2017-2021. Para ello, se empleó la metodología del ICARHS, evaluando catorce puntos de monitoreo ubicados en sectores con presencia de minería legal e ilegal. Los resultados indicaron que, en la categoría 3, los valores del ICARHS fueron de 93.89 y 94.00, y en la categoría 4, de 93.43 y 89.00, para minería legal e ilegal respectivamente, reflejando un impacto ambiental comparable entre ambas actividades. En cuanto al primer objetivo específico, que consistía en evaluar la calidad ambiental en las categorías seleccionadas, los valores obtenidos para la categoría 3 fueron 95.22 para la minería legal y 94.00 para la minería ilegal, mientras que para la categoría 4 los valores fueron de 93.43 para la minería legal y 89.00 para la minería ilegal, sugiriendo una ligera ventaja en favor de la minería legal. El segundo objetivo específico evaluó la consistencia de los resultados a lo largo del tiempo. En la categoría 3, los promedios fueron de 98.00 para la minería legal y 100.00 para la minería ilegal, mientras que en la categoría 4, los valores fueron de 99.71 para la minería legal y 100.00 para la minería ilegal, con la minería ilegal alcanzando los valores máximos. La investigación concluyó que existe una igualdad significativa entre los ICARHS de la minería legal e ilegal, con una calificación de "Excelente" para la categoría 3 y de "Excelente" a "Bueno" para la categoría 4. Estos resultados resaltan la necesidad de un monitoreo exhaustivo para garantizar que las prácticas mineras, tanto legales como ilegales, mantengan un impacto controlado sobre el medio ambiente y los recursos hídricos.

Hilario y Mamani (2021) en su investigación titulada “Variación del Índice de Calidad de Agua aplicando la metodología ICA-PE, del río Escalera, en el distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica durante el periodo 2015 - 2018”, se centraron en evaluar la variación del Índice de Calidad de Agua (ICA) aplicando la metodología ICA-PE en el río Escalera, ubicado en el distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica, durante el período 2015-2018. El objetivo principal fue analizar cómo varió la calidad del agua en este río a lo largo del tiempo. La investigación abarcó puntos de muestreo a lo largo del río Escalera, seleccionando como muestra dos puntos específicos (REscal y REsca2). Se emplearon técnicas de análisis documental, fichaje y simulación matemática, utilizando como instrumentos la ficha y la fórmula matemática correspondiente a la metodología ICA-PE. El estudio fue de tipo aplicado, con un nivel explicativo, basado en el método científico hipotético-deductivo y un diseño no experimental longitudinal de tendencia. Los resultados mostraron que, durante el período 2015-2018, en los puntos REscal y REsca2, los niveles de concentración de metales como cadmio (0.3-0.01 mg/L), cobre (0.41-0.20 mg/L), hierro (34-5.1 mg/L), manganeso (5.8-8.86 mg/L), plomo (0.3-0.1 mg/L) y zinc (36.68-26.94 mg/L) superaron los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Esto impactó negativamente en los resultados del ICA, que mostró un descenso en la calidad del agua: en 2015, el ICA era favorable con un valor de 73.14, mientras que, en 2018, la calidad del agua se clasificó como regular, con un valor de 61.85. En conclusión, se determinó que la calidad del agua en el río Escalera disminuyó de buena a regular durante el período 2015-2018, evidenciando un deterioro significativo en la calidad ambiental del río a lo largo del tiempo.

Vargas (2021) en su investigación titulada “Análisis espaciotemporal del Índice de la Calidad ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya-Puno”, analizo la variación espaciotemporal del Índice de Calidad Ambiental del río San Gabán (ICARHS), dada la importancia de este río debido a los diversos usos de sus aguas. El objetivo principal fue evaluar la calidad del agua en distintos puntos de control ubicados en las localidades de Macusani (RSgab1 y RSgab2), Ollachea (RSgab3 y RSgab4) y San Gabán (RSgab5 y Rlnaml), en la provincia de Carabaya, Puno. La metodología empleada para calcular el ICARHS se basó en la aplicación del protocolo de la Autoridad Nacional del Agua, que agrupa 14 parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos. Los datos utilizados provienen de los monitoreos de calidad del agua realizados por la Administración Local del Agua Tambopata - Inambari durante las temporadas de avenida y estiaje entre los años 2016 y 2020. Los resultados del estudio revelaron que la calidad promedio del agua en el punto RSgab1 en Macusani es superior a la del punto RSgab2, debido a la menor concentración de coliformes fecales en el punto de salida. En Ollachea, el punto RSgab3 (aguas arriba) mostró una calidad de agua "buena" en comparación con el punto RSgab4 (aguas abajo), donde la calidad se calificó como "regular", principalmente por la presencia de coliformes fecales y la concentración de plomo por encima de los estándares de calidad. De manera similar, en San Gabán, el punto RSgab5 (aguas arriba) presentó una mejor calidad de agua que el punto Rlnaml (aguas abajo), debido al incremento en las concentraciones de plomo (Pb) y sólidos totales suspendidos (STS). Además, se observó que la correlación lineal entre los ICARHS de Macusani y Ollachea es débil, mientras que entre Macusani y San Gabán la correlación es de intensidad fuerte; y entre Ollachea y San Gabán se identificó una interrelación de significancia moderada.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena durante el periodo 2018-2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Calcular el ICARHS mensual, anual y total para cada estación de monitoreo durante el periodo 2018-2023.
- Identificar variaciones espaciales del ICARHS entre las estaciones de monitoreo durante el periodo 2018-2023.
- Identificar variaciones temporales del ICARHS en cada estación, considerando tendencias mensuales y anuales.
- Identificar posibles fuentes de contaminación causantes de la variación de los ICARHS.

1.4 Justificación

1.4.1. Justificación teórica

La investigación aporta al conocimiento existente sobre la interacción entre la minería y la calidad del agua, enriqueciendo el campo de las ciencias ambientales con nuevos datos y análisis. A través del estudio de la variabilidad espaciotemporal de los parámetros de calidad del agua superficial, se contribuye a una mejor comprensión de la influencia de la minería y otros factores, lo cual promueve el desarrollo de información más robusta sobre la calidad del agua.

1.4.2. Justificación práctica

El estudio es relevante ya que aborda directamente los retos prácticos asociados con la gestión de la calidad del agua superficial en contextos mineros, identificando patrones que podrían guiar la implementación de estrategias efectivas para el tratamiento de aguas, la reducción de la contaminación y la mejora de la infraestructura de monitoreo. Los resultados abren las puertas a aplicaciones directas en la planificación de recursos hídricos, el desarrollo de políticas de gestión ambiental y la mejora de prácticas mineras para minimizar su impacto en los recursos hídricos.

1.4.3. Justificación social

La justificación social de este estudio radica en su potencial para influir positivamente en las comunidades cercanas al desarrollo de las actividades mineras, ofreciendo información robusta y fiable sobre la calidad del agua. Al entender las dinámicas de la calidad del agua superficial en áreas mineras, se pueden desarrollar estrategias más efectivas para proteger la salud pública, contribuir al bienestar de las comunidades locales y fomentar una mayor justicia ambiental.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- La calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena ha disminuido significativamente durante el periodo 2018-2023.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Los valores mensuales, anuales y totales del ICARHS muestran variaciones significativas entre las diferentes estaciones de monitoreo y periodos de evaluación.
- Las estaciones de monitoreo aguas debajo de los efluentes de la U.M. La Arena presentan los valores más bajos en el ICARHS.
- El ICARHS en cada estación de monitoreo presenta tendencias y patrones mensuales y anuales definidos.
- Las variaciones observadas en el ICARHS están asociadas significativamente con fuentes de contaminación específicas, principalmente derivadas de las actividades mineras y la geología en la zona de estudio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. *Calidad de agua superficial*

La contaminación del agua y el daño a los ecosistemas de agua son problemas globales. La urbanización rápida y la industrialización, incluyendo minería y agricultura intensiva (muy presentes en Perú), han crecido mucho después de la Segunda Guerra Mundial. Esto ha causado contaminación por aguas residuales urbanas e industriales no tratadas o tratadas de forma insuficiente, además de la contaminación difusa de origen agrícola e industrial, a un nivel nunca visto antes (Fanlo, 2019).

A lo largo de 40 años, el consumo de agua ha crecido globalmente en un 1% anual, un aumento que se espera se mantenga hasta 2050 debido a factores demográficos y socioeconómicos, siendo más notable en países emergentes. Esta dinámica, combinada con el cambio climático, incrementa la escasez hídrica en diversas regiones. Sin embargo, más allá de la cantidad, la calidad del agua se destaca como una preocupación universal (Naciones Unidas [ONU], 2023). La calidad del agua se determina por sus características químicas, físicas y biológicas, y se mide en función de su idoneidad para diferentes propósitos. El agua se utiliza para actividades como la recreación, el consumo humano, la pesquería, la agricultura y la producción industrial. Dependiendo del propósito, existen diferentes regulaciones y criterios que establecen los niveles aceptables de calidad (Ritabrata, 2019). En ese sentido, la “calidad del agua” es un término que engloba las características del agua, y su adecuación varía según el uso que se le va a dar. No se puede simplemente clasificar el agua como "buena" o "mala" de manera general (United States Geological Survey [USGS], 2017).

La calidad del agua, entonces, se define por su idoneidad para distintas actividades como el consumo humano, la agricultura o usos industriales. Cada uno de estos usos exige que el agua cumpla con ciertos estándares que determinan si es adecuada o no. La calidad del

agua varía según las características del lugar de donde proviene, como el tipo de suelo y las condiciones climáticas. Además, la calidad puede cambiar debido a eventos naturales o actividades humanas, que pueden ser predecibles o aleatorios, como una tormenta que arrastra contaminantes a un cuerpo de agua. Por lo tanto, comprender estos factores es fundamental para evaluar la calidad del agua (Asadollahfardi, 2015).

Finalmente, podemos afirmar que la calidad del agua es un concepto dinámico que varía según el enfoque. Desde una perspectiva funcional, se relaciona con la capacidad del agua para satisfacer diversos usos, como el consumo humano o la agricultura. Desde un ángulo ambiental, implica las condiciones necesarias para mantener un ecosistema equilibrado. La calidad del agua, por lo tanto, depende del contexto y del uso específico que se le quiera dar (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

La calidad del agua, en el Perú, se ha deteriorado significativamente, influenciada por la gestión deficiente de actividades industriales, agrícolas y domésticas, sin adoptar medidas de manejo ambiental efectivas. Esta situación se complica debido a una escasa conciencia y participación ciudadana en la protección del recurso hídrico. Factores como los vertidos no regulados de residuos industriales y domésticos al entorno acuático son primordiales en la disminución de la calidad del agua. Contribuyen también a esta problemática el uso desmedido de productos químicos en la agricultura y en actividades ilícitas, así como en la minería informal, lo que incrementa la carga de contaminantes en cuerpos de agua. La urgencia de abordar esta problemática se ve reforzada por la necesidad de mejorar el manejo de residuos sólidos y peligrosos, y de abordar el desafío de los pasivos ambientales, para prevenir su impacto negativo en la calidad del agua y garantizar un recurso hídrico seguro para el consumo y uso sostenible (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009).

2.1.2. *Parámetros de la calidad del agua*

Parámetros fisicoquímicos: Los parámetros fisicoquímicos proporcionan un amplio conocimiento sobre las características y propiedades físicas de las especies químicas en el agua, aunque no ofrecen datos sobre cómo estas afectan a la vida acuática (Orozco et al., 2004). Entre ellos se encuentran los siguientes: Potencial de Hidrógeno, Temperatura, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, etc.

Parámetros inorgánicos: Son los compuestos formados por diversos elementos, pero que no contienen enlaces carbono-hidrógeno (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2010). Entre ellos se encuentran los siguientes: Aluminio, Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Zinc, etc.

Parámetros microbiológicos: Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2010). Entre ellos se encuentran los siguientes: Escherichia coli, Huevos de Helmintos, Coliformes Fecales o Termotolerantes, Vibrio cholerae, etc.

2.1.3. *Estándares de Calidad del Agua*

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua constituyen un importante instrumento de Gestión Ambiental para la protección de la calidad de los recursos hídricos, la mejora de la competitividad de las actividades económicas, y la promoción de la calidad de vida, y el desarrollo sostenible del país. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) define los niveles máximos permitidos de concentración o intensidad de elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos. Estos niveles aseguran que no haya un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente. Dependiendo del elemento o sustancia específica, estos límites pueden ser expresados como valores máximos, mínimos o dentro de un rango determinado (Congreso de la República, 2005).

Las estaciones de monitoreo de seguimiento y control de la calidad de agua

superficial en la Unidad Minera la Arena son comparadas con la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. En la Tabla 1 se presentan los valores establecidos para las Subcategorías 3 D1 y 3 D2.

Tabla 1

Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Físicos-Químicos				
Aceites y Grasas	mg/L		5	10
Bicarbonatos	mg/L		518	••
Cianuro Wad	mg/L		0.1	0.1
Cloruros	mg/L		500	••
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co		100 (a)	100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)		2 500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)				
Demanda Química de	mg/L		15	15
Demanda Química de	mg/L		40	40

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Oxígeno (DQO)				
Detergentes (SAAM)	mg/L		0.2	0.5
Fenoles	mg/L		0.002	0.01
Fluoruros	mg/L		1	••
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)				
	mg/L		100	100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)				
	mg/L		10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)				
	mg/L		> 4	> 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6.5-8.5	6.5-8.4
Sulfatos	mg/L		1000	1000
Temperatura	°C		△ 3	△ 3
Inorgánicos				
Aluminio	mg/L		5	5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para	Agua para	Bebida de animales
		riego no restringido (c)	riego restringido	
Arsénico	mg/L		0.1	0.2
Bario	mg/L		0.7	**
Berilio	mg/L		0.1	0.1
Boro	mg/L		1	5
Cadmio	mg/L		0.01	0.05
Cobre	mg/L		0.2	0.5
Cobalto	mg/L		0.05	1
Cromo Total	mg/L		0.1	1
Hierro	mg/L		5	**
Litio	mg/L		2.5	2.5
Magnesio	mg/L		**	250
Manganeso	mg/L		0.2	0.2
Mercurio	mg/L		0.001	0.01
Níquel	mg/L		0.2	1
Plomo	mg/L		0.05	0.05
Selenio	mg/L		0.02	0.05
Zinc	mg/L		2	24
Microbiológicos y Parasitológico				
Coliformes	NMP/100	1000	2000	1000

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para	Agua para	Bebida de animales
		riego no restringido (c)	riego restringido	
Termotolerantes	ml			
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Nota. Decreto Supremo 004-2017-MINAM.

2.1.4. Índice de Calidad de Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales

El Índice de Calidad del Agua condensa una gran cantidad de datos sobre la calidad del agua en términos simples y comprensibles (por ejemplo, excelente, buena, mala, etc.), facilitando así la comunicación de esta información tanto a la gestión como al público de manera coherente y uniforme. Además, esta simplificación permite tomar decisiones más informadas y rápidas, y facilita la comprensión general del estado del recurso hídrico por parte de audiencias no técnicas (Bharti y Katyal, 2011).

El 13 de mayo de 2020, mediante Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA, se aprobó la metodología “Índice de Calidad de Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (En adelante, ICARHS)”, dejando sin efecto la Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA, la cual aprobó la “Metodología del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE). Este cambio metodológico refuerza el compromiso de mejorar la precisión y la claridad en la evaluación de la calidad del agua en el país, alineando los criterios de evaluación con estándares más actualizados.

2.1.5. Contaminación del agua

La contaminación del agua se define a partir de tres aspectos clave: a) se evalúa en relación con la calidad o composición natural del agua, no en comparación con agua pura; b) se determina en función de la aptitud del agua para los usos a los que está destinada; y c) se atribuye tanto a las acciones humanas directas como indirectas que alteran la calidad del agua (González et al., 2011).

2.1.5.1. Fuentes de contaminación. Las fuentes de contaminación del agua se clasifican en puntuales y no puntuales. Las primeras son localizables y las segundas, dispersas.

Las fuentes puntuales de contaminación se refieren a emisiones de contaminantes provenientes de ubicaciones específicas y claramente identificables, como una tubería industrial o una planta de tratamiento de aguas residuales, que descargan directamente en cuerpos de agua. Por otro lado, las fuentes no puntuales de contaminación se refieren a la dispersión de contaminantes de manera difusa sobre un área amplia, usualmente a través del escurrimiento del agua de lluvia que arrastra contaminantes desde diversas áreas, como terrenos agrícolas, urbanos o zonas de construcción, hacia los cuerpos de agua cercanos. Mientras las fuentes puntuales pueden ser fácilmente identificadas y monitoreadas, las fuentes no puntuales son difíciles de rastrear y controlar debido a su naturaleza dispersa (Spellman, 2021).

Los contaminantes específicos en el agua incluyen una amplia gama de químicos, patógenos y cambios físicos o sensoriales, como el aumento de la temperatura y la descoloración. Aunque muchos de los químicos y sustancias reguladas pueden ser naturales, la concentración es crucial para determinar si una sustancia es un componente natural del agua o un contaminante (Balkis, 2012). En la Tabla 2 se presentan los principales contaminantes del agua y su relación con las fuentes y las industrias correspondientes.

Tabla 2*Principales contaminantes del agua*

Tipos de Contaminantes de Agua	Fuentes Puntuales		Fuentes No Puntuales	
	Urbanas	Industriales	Agricultura y Otros Residuos	Residuos Urbanos
Sustancias Demandantes de Oxígeno	*	*	*	*
Nutrientes	*	*	*	*
Partículas Suspendidas / Sedimentos	*	*	*	*
Sales		*	*	*
Compuestos Tóxicos de Metales o Metaloides		*		*
Surfactantes	*	*		*
Ácidos y Bases		*		
Sustancias Orgánicas Tóxicas		*	*	*
Sales Inorgánicas Tóxicas		*		*
Aceites y Grasas		*		*
Plásticos, Polímeros,				*

Tipos de Contaminantes de Agua	Fuentes Puntuales		Fuentes No Puntuales	
	Urbanas	Industriales	Agricultura y Otros Residuos	Residuos Urbanos
etc. (Basura)				
Patógenos	*	*	*	*
Calor		*		

Nota. (Ibáñez et al., 2013).

2.1.6. Monitoreo ambiental

El monitoreo se relaciona comúnmente con la recolección de datos, pero es crucial entender cómo se utilizará esta información para la toma de decisiones. Esto implica definir claramente cómo se analizará, comunicará y utilizará la información recopilada por gestores de cuencas, stakeholders, gobiernos, agencias financiadoras y la sociedad en general. Los sistemas de monitoreo deben generar información que muestre cómo las estrategias y programas de gestión de cuencas están impactando en los recursos hídricos y en las condiciones económicas, sociales y ecológicas de la cuenca (Global Water Partnership [GWP], 2009).

El monitoreo de la calidad de los recursos hídricos se refiere al método que facilita la evaluación de la calidad de las fuentes acuáticas naturales, con la intención de rastrear y gestionar la presencia de contaminantes y su influencia en los variados usos del agua y en los ambientes acuáticos (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

III. METODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada ya que se enfoca en resolver o entender problemas específicos. En ese sentido, la presente busca analizar la calidad del agua superficial en un área de estudio específico. A través de la recopilación de datos y la aplicación de la metodología ICARHS, se busca comprender los comportamientos y tendencias de la calidad del agua. Los resultados obtenidos tendrán relevancia práctica, ya que podrán utilizarse para tomar decisiones informadas en la gestión ambiental y contribuir a la mejora de la calidad del agua en el área de estudio.

3.1.1. Nivel de investigación

La investigación es de nivel descriptivo. Se enfoca en evaluar la calidad del agua superficial en un contexto geográfico y temporal específico, utilizando datos acumulados por la Unidad Minera La Arena durante 7 años. Esta descripción implica la medición y evaluación de diversas variables relacionadas con la calidad del agua, permitiendo una comprensión integral del estado actual de la misma.

3.1.2. Diseño de la investigación

La investigación es de carácter no experimental y longitudinal. Se trata de un estudio no experimental porque no se manipulan intencionalmente las variables independientes; en lugar de ello, se observan los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. Al ser longitudinal, se realiza un seguimiento de los cambios y tendencias en la calidad del agua superficial a lo largo de seis años, lo que permite identificar variaciones temporales en el área de estudio.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El presente estudio se llevó a cabo considerando los resultados de las estaciones de monitoreo de Calidad de Agua Superficial, establecidos en el Plan de Vigilancia de la Tercera

Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto minero La Arena (en adelante, **Tercera MEIA-d La Arena**).

3.2.1. Ámbito temporal

La elaboración de la presente investigación se realizó considerando la información disponible desde el año 2018 hasta el año 2023. Este período de tiempo permite robustez en la información para identificar patrones espaciales y temporales subyacentes en los resultados de los monitoreos ambientales ejecutados por la Unidad Minera La Arena.

3.2.2. Ámbito espacial

Políticamente, la Unidad Minera La Arena se ubica en los distritos de Huamachuco y Sanagorán, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad. Geográficamente, se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes, en el norte del Perú, entre los 3170 y 3575 m s. n. m.

De acuerdo con lo descrito en el Plan de Vigilancia de la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental (MEIA-d) Fase 1 y Fase 2 de la U.M. La Arena, aprobada mediante la Resolución Directoral (R.D.) N.º 255-2017-SENACE-DCA, se tienen diecisiete (17) estaciones de monitoreo de agua superficial.

Las estaciones de monitoreo se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 3*Estaciones de monitoreo de Control y Seguimiento de Agua Superficial*

Estaciones de monitoreo	Descripción	WGS 84 Zona 17 Sur		Altitud m s. n. m.	Frecuencia / Reporte de monitoreo	Cuerpo de agua	Subcuenca
		Este	Norte				
FRA-01	Quebrada Los Fraylones aguas arriba de la descarga del efluente tratado (punto de descarga M6).	818034	9126006	3264	Mensual / Trimestral	Quebrada Los Fraylones	Subcuenca del río Yamobamba
FRA-02	Quebrada Los Fraylones. aguas debajo de la descarga del efluente tratado (punto de descarga M6).	818068	9126290	3263	Mensual / Trimestral		
FRA-10	Quebrada Los Fraylones. parte media.	817697	9123969	3295	Mensual / Trimestral		
YAM-10	Río Yamobamba después de la confluencia con la Qda Tambo Chiquito	818178	9124558	3284	Mensual / Trimestral	Río Yamobamba	
YAM-25	Río Yamobamba después de la confluencia con la Qda Agua Blanca.	818268	9127667	3226	Mensual / Trimestral		
CHI-21	Río Chichiricucho	815175	9129620	3095	Mensual / Trimestral	Río Chichiricucho	
CHI-20	Quebrada la Ramada, aguas arriba de la descarga de efluente industrial tratado (punto de descarga M1)	815190	9128818	3145	Mensual / Trimestral	Quebrada La Ramada	Subcuenca del río Chichiricucho
T1	Naciente de la quebrada La Ramada a 40 m de la vía Trujillo - Huamachuco	814663	9124338	3549	Mensual / Trimestral		
T4	Quebrada La Ramada, aguas abajo de la	815292	9128928	3144	Mensual /		

descarga de efluente industrial tratado (punto de descarga M1)					Trimestral	
T2	Quebrada La Cullmullacha a 200 m antes de la confluencia con la quebrada La Ramada	814482	9127044	3248	Mensual / Trimestral	Quebrada La Cullmullacha
T3	Quebrada Quishuara. a 600 m antes de la confluencia con la Qda. La Ramada.	814501	9128302	3219	Mensual / Trimestral	Quebrada Quishuara
T7	Quebrada Coriquin	815032	9125594	3311	Mensual / Trimestral	Quebrada Coriquin
P5	Quebrada Sayapamba parte baja, antes de la confluencia con el Río Chichiricucho (aguas abajo del punto de descarga M5)	815698	9128746	3153	Mensual / Trimestral	Quebrada Sayapamba
P2	Quebrada Sayapamba, aguas arriba a 50 m de las instalaciones del Proyecto (aguas arriba del punto de descarga M5)	816766	9127388	3274	Mensual / Trimestral	
PC-1	Quebrada Sayapamba, a 50 m aguas arriba del efluente (M5)	816426	9127727	3240	Mensual / Trimestral	
PC-2	Quebrada Sayapamba. a 100 m aguas abajo del efluente (M5) y 100 m aguas arriba del efluente (M7).	816356	9127829	3230	Mensual / Trimestral	
QSaya4	Quebrada Sayapamba. a 200 m aguas abajo del efluente M7.	816177	9128034	3242	Mensual / Trimestral	

Nota. Elaboración propia

Figura 1

Ubicación de las estaciones de monitoreo



Nota. La actividad se desarrolla en los distritos de Huamachuco y Sanagorán, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad.

3.3. Variables

En este ítem, se definen y describen las variables clave que se analizarán para analizar el comportamiento espacio temporal de la calidad del agua superficial.

3.3.1. *Variables independientes*

La variable independiente se entiende como la responsable de generar un cambio en la variable dependiente (Arias-Gonzales, 2021). En la presente investigación, estas son:

3.3.1.1. *Tiempo.* Representa el período durante el cual se realizaron los monitoreos de la calidad del agua, comprendido entre los años 2018 y 2023. Esta variable se desglosa en meses y años específicos, permitiendo analizar tendencias temporales y estacionales en la calidad del agua superficial.

3.3.1.2. *Espacio.* Se refiere a las distintas ubicaciones geográficas donde se tomaron las muestras de agua superficial. Específicamente, incluye las coordenadas y características de las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena. Esta variable permite evaluar las variaciones espaciales en la calidad del agua debido a factores particulares de cada estación.

3.3.2. *Variable dependiente*

La variable dependiente es la que cambia como resultado de la manipulación de las variables independientes (Arias-Gonzales, 2021). En la presente investigación, esta es:

3.3.2.1. *Calidad de Agua Superficial.* Evaluada a través de los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos en las muestras de agua. La integración de estos parámetros se realizó mediante el cálculo del Índice de Calidad del Agua ICARHS, lo que permitió una evaluación integral y comparativa de la calidad del agua en función del tiempo y el espacio.

3.3.3. *Operacionalización de variables*

Tabla 4*Operacionalización de variables*

Variable	Tipo	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento de Medición
Tiempo	Independiente	Período en el cual se realizan los monitoreos de calidad del agua	Años y fechas específicas de muestreo entre 2018 y 2023	- Año - Mes	Registro de fechas en informes de monitoreo
Espacio	Independiente	Ubicaciones geográficas de los puntos de muestreo	Coordenadas de cada estación de monitoreo	- Coordenada este - Coordenada norte	Mapas
Calidad del agua superficial	Dependiente	Estado del agua en términos de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas	Valor del índice ICARHS calculado a partir de los parámetros medidos en los informes de monitoreo	- ICARHS - Clasificación según niveles de calidad (Bueno, Aceptable, etc.)	Cálculo del ICARHS usando datos de los informes de monitoreo

Nota. Elaboración propia

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En el presente estudio, la población estuvo constituida por todas las posibles muestras de agua superficial en la zona de estudio durante el período comprendido entre 2018 y 2023.

3.4.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por los datos de calidad del agua superficial recogidos en 17 puntos de monitoreo establecidos como parte de los compromisos ambientales de la Unidad Minera La Arena.

Dado que la Tercera Modificación del Estudio de Impacto Ambiental (MEIA) de la Unidad Minera La Arena fue aprobada a finales del año 2017, en este estudio se consideran los resultados del monitoreo realizados a partir del año 2018. Los 17 puntos de monitoreo establecidos han sido evaluados mensualmente durante un período de 6 años (2018-2023), lo que proporciona una base de datos de 1224 observaciones (17 puntos x 12 meses x 6 años).

Este conjunto de datos permitió analizar las tendencias y patrones en las concentraciones de los parámetros de calidad del agua a lo largo del tiempo y el espacio.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Informes de monitoreo

En cumplimiento del Literal g) del Artículo 11° del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) proporcionó los informes de monitoreo de la Unidad Minera La Arena. Estos informes contienen datos detallados sobre los parámetros de calidad del agua superficial, recopilados en el marco de los compromisos ambientales de la empresa minera. La información relevante fue extraída y sistematizada en el programa Microsoft Excel.

3.5.2. Software

Los programas utilizados para la presente investigación fueron los siguientes:

3.5.2.1. Microsoft Excel (Office 365). Utilizado para organizar y analizar datos mediante tablas, fórmulas y gráficos, facilitando el procesamiento de la información.

3.5.2.2. Microsoft Excel (Office 365). Empleado para la redacción y presentación formal del informe final de la investigación.

3.5.2.3. IDE Spyder (Python 3.12). Herramienta para ejecutar scripts en Python, realizando análisis estadísticos y visualización de datos.

3.5.2.4. QGIS Desktop 3.34.13. Plataforma SIG de código abierto empleada para visualizar, editar y analizar datos geoespaciales, permitiendo la creación de mapas temáticos y la integración con diversas fuentes de información.

3.6. Procedimientos

La metodología de desarrollo es investigación no experimental y longitudinal con la finalidad de conocer el comportamiento y tendencias subyacentes de la variable dependiente con relación a las variables independientes.

3.6.1. Recopilación de información

La información fue proporcionada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental el día 17/10/2023.

Figura 2

Respuesta de la OEFA a la solicitud de información

DATOS DE LA RESPUESTA	
Fecha de Asignación	17/10/2023
Fecha de Respuesta	17/10/2023
Respuesta a la Solicitud:	<p>Estimado Sr. Benigno Adolfo Israel Gómez Conde,</p> <p>Es grato dirigirme a usted, en relación a su solicitud de acceso a la información pública presentada con Expediente N° 3595401; para manifestarle que la Dirección General de Asuntos Ambientales Míneros, mediante documento interno indica que puede acceder y descargar la información que solicita, a través del siguiente enlace electrónico, usuario y contraseña, que deberá copiar en el explorador de archivos de windows:</p> <p>Enlace: ftp://ftp.minem.gob.pe/3595401/ Usuario: userexterno Contraseña: e32x22</p> <p>Precisando que, la información se encontrará almacenada hasta el día 23 de octubre de 2023 y que para poder visualizar el documento deberá copiarlo a su escritorio.</p> <p>En ese sentido, se tiene por atendida su solicitud de acceso a la información pública.</p> <p>Finalmente, agradeceremos completar una encuesta de satisfacción en el link: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQL5d12PHU9K09Ni7T5Hirh02v085UTx446L2185gDagt7iw/viewform</p> <p>Atentamente,</p> <p>Karla Lilibeth Vera Oliva Jefa (e) de la Oficina de Administración Documentaria y Archivo Central</p>

Nota. Elaboración propia

3.6.2. Organización y tratamiento de la información

La organización y tratamiento de los datos recopilados de los 17 puntos de monitoreo ambiental comenzó con su digitalización y estructuración en una base de datos coherente, asegurando la integridad y accesibilidad de la información.

Durante el proceso de recopilación de información, se identificaron algunos vacíos en los datos correspondientes a ciertos meses, atribuidos a problemas sociales en la zona de estudio y a las restricciones derivadas de la pandemia de COVID-19.

3.7. Análisis de datos

Se consideraron los parámetros mínimos señalados para la Categoría 3 en la “Metodología para la Determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales”. Los cuales son:

Materia orgánica: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes.

Fisicoquímico metal: Potencial de hidrógeno (pH), arsénico, aluminio, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo.

3.7.1. Cálculo del ICARHS

Para el análisis del ICARHS, se aplica la fórmula creada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI). La cual es la siguiente:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

F1 – Alcance

Representa la cantidad de parámetros de calidad que exceden los valores permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA para Agua) vigentes, en relación con el total de parámetros evaluados.

$$F_1 = \frac{N^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{N^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$$

F2 – Frecuencia

Representa la proporción de datos que exceden los valores establecidos por la normativa ambiental (ECA para Agua) en comparación con el total de datos de los parámetros evaluados, considerando únicamente aquellos provenientes de al menos 4 monitoreos.

$$F_1 = \frac{N^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA}}{N^\circ \text{ total de datos evaluados}}$$

F3 – Amplitud

Es una medida de la variabilidad presente en los datos, calculado a partir de la suma normalizada de los excedentes, es decir, los valores que superan los límites establecidos, en relación con el número total de datos.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

En donde:

$$\text{Suma Normalizada de Excedentes} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \right)$$

EXCEDENTE: Corresponde a cada parámetro y se define como la diferencia entre el valor del ECA para Agua y el valor registrado del dato que excede dicho estándar.

Caso 1: Si la concentración del parámetro supera el valor establecido en el ECA para Agua, el excedente se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando la concentración del parámetro es inferior al valor establecido en el ECA para Agua y no cumple con las condiciones específicas definidas, como en los casos de Oxígeno Disuelto (> 4) o pH (> 6.5 y < 8.5), el cálculo del excedente se efectúa de la siguiente forma:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}} \right) - 1$$

3.7.2. Escalas de valoración

El resultado del ICARHS se expresa como un valor adimensional comprendido entre 0 y 100, el cual se utiliza para clasificar la calidad del agua en cinco categorías: Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente.

Tabla 5*Valoración del ICARHS*

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RGB)	Interpretación
95 – 100	Excelente	(0, 112, 255)	La calidad del agua está protegida, sin amenazas o daños, con una condición muy cercana a los niveles naturales o deseables.
80 – 94	Bueno	(0, 197, 255)	La calidad del agua se aparta ligeramente de su estado natural, con posibles amenazas o daños menores.
65 – 79	Regular	(85, 255, 0)	La calidad del agua natural es ocasionalmente amenazada o dañada, alejándose de los valores deseables. Muchos usos requieren tratamiento.
45 – 64	Malo	(255, 170, 0)	La calidad del agua no cumple los objetivos establecidos, con condiciones frecuentemente amenazadas o dañadas. La mayoría de los usos necesitan tratamiento.
0 – 44	Pésimo	(255, 0, 0)	La calidad del agua no cumple los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada, y todos los usos requieren tratamiento.

Nota. Recopilado de la “Metodología para la Determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales”.

3.7.3. Determinación de subíndices

El cálculo del ICARHS, depende de dos (2) subíndices, que serán asignados como S1

y S2, los que se calcularán en función de parámetros determinados que guardan relación entre sí, y la calificación final será determinada por el resultado de menor valor y calificación crítica.

$$ICARHS = \text{mín.} (S_1, S_2)$$

Nota: mín: mínimo, S₁: Subíndice 1, S₂: Subíndice 2

3.8. Consideraciones éticas

En esta sección, se detallan las consideraciones éticas que guiarán la realización de la investigación.

3.8.1. Integridad de la Investigación

Asegura la recopilación y análisis honestos de los datos, evitando cualquier manipulación de resultados para reflejar fielmente las variaciones en la calidad del agua.

3.8.2. Confidencialidad y Uso Responsable de Datos

Protege la información sensible relacionada con los sitios de muestreo y la unidad minera, utilizando los datos exclusivamente para propósitos de investigación y desarrollo sostenible.

3.8.3. Contribución al Conocimiento y a la Práctica Minera

Aporta perspectivas fundamentales no solo para la comunidad científica, sino también para optimizar las operaciones y prácticas ambientales en la Unidad Minera.

IV. RESULTADOS

4.1. Cálculo del ICARHS

Se aplicó la metodología de ICARHS a cada estación de monitoreo considerando todos los resultados del periodo de evaluación. Esto proporcionó una visión más detallada de las áreas afectadas en términos de calidad del agua, destacando los puntos críticos que requieren mayor atención y gestión.

El valor de ICARHS para cada estación de monitoreo se puede observar en la Tabla 6 – ICARHS – Resultados por estación de monitoreo.

Tabla 6

Resultados de ICARHS – Por estación de monitoreo

Estación de monitoreo	S ₁ (M. O.)	S ₂ (FQ - M)	ICARHS <i>min (S₁, S₂)</i>	C
FRA-01	97.06	99.74	97.06	
FRA-02	97.13	99.74	97.13	
FRA-10	97.23	99.87	97.23	
YAM-10	99.18	61.39	61.39	
YAM-25	98.58	66.11	66.11	
CHI-20	98.98	98.94	98.94	
CHI-21	99.44	92.61	92.61	
T1	98.56	99.94	98.56	
T2	98.76	99.93	98.76	
T3	98.14	99.93	98.14	
T4	98.94	93.46	93.46	
T7	98.67	100.00	98.67	

Estación de monitoreo	S₁ (M. O.)	S₂ (FQ - M)	ICARHS <i>min (S₁, S₂)</i>	C
P5	99.21	77.35	77.35	
P2	96.82	96.40	96.40	
PC-1	100.00	68.12	68.12	
PC-2	100.00	74.45	74.45	
QSaya4	100.00	72.67	72.67	

Nota. S₁ (M. O.): Subíndice 1 – Materia orgánica

S₂ (FQ - M): Subíndice 2 – Físicoquímico – metal

C: Calificación, ▶ Excelente, ▶ Bueno, ▶ Regular, ▶ Malo, ▶ Pésimo.

Además, se calculó el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) agrupando los resultados de forma anual y mensual. El análisis anual permite identificar tendencias generales en la calidad del agua, mientras que el análisis mensual permite detectar variaciones estacionales. Los valores de ICARHS por año y por mes se detallan en la Tabla 7 y en la Tabla 8 respectivamente.

Tabla 7

Resultados de ICARHS – Por año

Año	Índices	Estaciones de monitoreo																
		FRA-01	FRA-02	FRA-10	YAM-10	YAM-25	CHI-20	CHI-21	T1	T2	T3	T4	T7	P5	P2	PC-1	PC-2	QSay4
2018	S ₁ (MO)	99.81	100.00	91.40	99.59	99.24	100.00	98.96	100.00	100.00	100.00	99.81	100.00	100.00	91.03	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	99.87	99.86	99.94	58.67	62.05	99.78	88.36	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	68.37	97.57	74.39	83.51	72.69
	ICARHS	99.81	99.86	91.40	58.67	62.05	99.78	88.36	100.00	100.00	100.00	99.81	100.00	68.37	91.03	74.39	83.51	72.69
	C																	
2019	S ₁ (MO)	97.14	97.80	95.97	100.00	100.00	99.70	100.00	98.71	99.16	100.00	100.00	97.91	100.00	96.39	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	61.87	66.03	99.94	83.10	100.00	100.00	100.00	72.76	100.00	71.92	95.89	64.76	69.21	56.04
	ICARHS	97.14	97.80	95.97	61.87	66.03	99.70	83.10	98.71	99.16	100.00	72.76	97.91	71.92	95.89	64.76	69.21	56.04
	C																	
2020	S ₁ (MO)	-	-	100.00	100.00	96.70	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	-	-	100.00	59.88	65.50	100.00	94.68	100.00	100.00	100.00	99.75	100.00	86.47	99.22	63.77	73.17	80.84
	ICARHS	-	-	100.00	59.88	65.50	100.00	94.68	100.00	100.00	100.00	99.75	100.00	86.47	99.22	63.77	73.17	80.84
	C																	
2021	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	64.26	71.06	99.42	97.12	99.92	99.77	100.00	98.85	100.00	89.65	98.99	65.34	70.71	90.22
	ICARHS	100.00	100.00	100.00	64.26	71.06	99.42	97.12	99.92	99.77	100.00	98.85	100.00	89.65	98.99	65.34	70.71	90.22
	C																	
2022	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	62.03	66.50	99.91	93.92	100.00	100.00	99.89	99.55	100.00	85.78	89.86	75.17	81.03	89.14
	ICARHS	100.00	100.00	100.00	62.03	66.50	99.91	93.92	100.00	100.00	99.89	99.55	100.00	85.78	89.86	75.17	81.03	89.14
	C																	

	S ₁ (MO)	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
2023	S ₂ (FQ - M)	-	-	100.00	64.90	69.83	100.00	99.06	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	88.80	98.98	70.05	74.84	89.77
	ICARHS	-	-	100.00	64.90	69.83	100.00	99.06	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	88.80	98.98	70.05	74.84	89.77
	C	-	-															

Nota. Elaboración propia.

S₁ (M. O.): Subíndice 1 – Materia orgánica, S₂ (FQ - M): Subíndice 2 – Físicoquímico – metal

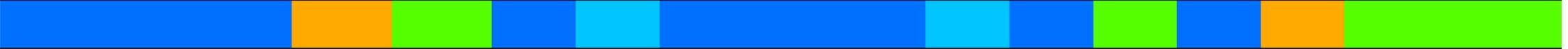
C: Calificación, ▶ Excelente, ▶ Bueno, ▶ Regular, ▶ Malo, ▶ Pésimo.

-: Sin data

Tabla 8*Resultados de ICARHS – Por mes*

Mes	Índices	Estaciones de monitoreo																
		FRA-01	FRA-02	FRA-10	YAM-10	YAM-25	CHI-20	CHI-21	T1	T2	T3	T4	T7	P5	P2	PC-1	PC-2	QSaya4
Enero	S ₁ (MO)	98.13	94.75	92.47	99.21	93.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	62.58	62.61	99.68	85.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	72.17	98.79	62.17	66.43	74.19
	ICARHS	98.13	94.75	92.47	62.58	62.61	99.68	85.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	72.17	98.79	62.17	66.43	74.19
	C																	
Febrero	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.72	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	96.34	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	99.92	100.00	100.00	64.98	67.89	100.00	93.29	100.00	100.00	100.00	95.28	100.00	78.38	98.27	60.10	63.71	76.84
	ICARHS	99.92	100.00	100.00	64.98	67.89	99.72	93.29	100.00	100.00	100.00	95.28	100.00	78.38	96.34	60.10	63.71	76.84
	C																	
Marzo	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.72	100.00	100.00	100.00	100.00	99.72	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	66.51	69.51	100.00	96.48	100.00	100.00	100.00	99.14	100.00	75.87	97.09	64.58	65.43	77.31
	ICARHS	100.00	100.00	100.00	66.51	69.51	99.72	96.48	100.00	100.00	100.00	99.14	100.00	75.87	97.09	64.58	65.43	77.31
	C																	
Abril	S ₁ (MO)	99.27	100.00	82.92	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	93.58	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	63.69	65.52	99.83	95.82	100.00	100.00	100.00	99.92	100.00	80.44	96.59	63.02	66.12	66.74
	ICARHS	99.27	100.00	82.92	63.69	65.52	99.83	95.82	100.00	100.00	100.00	99.92	100.00	80.44	93.58	63.02	66.12	66.74
	C																	
Mayo	S ₁ (MO)	91.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.61	99.13	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	64.08	67.18	100.00	99.13	100.00	100.00	99.80	100.00	100.00	87.13	98.73	73.47	77.76	82.59
	ICARHS	91.40	100.00	100.00	64.08	67.18	100.00	99.13	99.13	100.00	99.80	100.00	100.00	87.13	98.73	73.47	77.76	82.59
	C																	

Mes	Índices	Estaciones de monitoreo																
		FRA-01	FRA-02	FRA-10	YAM-10	YAM-25	CHI-20	CHI-21	T1	T2	T3	T4	T7	P5	P2	PC-1	PC-2	QSayaa4
Junio	S ₁ (MO)	100.00	95.35	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	97.25	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	62.62	68.07	100.00	95.16	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	82.85	97.67	74.50	82.37	89.64
	ICARHS	100.00	95.35	100.00	62.62	68.07	100.00	95.16	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	82.85	97.25	74.50	82.37	89.64
	C																	
Julio	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	88.45	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	59.16	64.96	100.00	84.05	99.87	100.00	100.00	86.44	100.00	85.28	99.71	85.32	90.83	64.85
	ICARHS	100.00	100.00	100.00	59.16	64.96	100.00	84.05	99.87	100.00	100.00	86.44	100.00	85.28	88.45	85.32	90.83	64.85
	C																	
Agosto	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	100.00	59.32	64.24	100.00	99.88	100.00	100.00	100.00	89.95	100.00	78.43	99.92	89.56	93.79	64.93
	ICARHS	100.00	100.00	100.00	59.32	64.24	100.00	99.88	100.00	100.00	100.00	89.95	100.00	78.43	99.92	89.56	93.79	64.93
	C																	
Septiembre	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	99.70	99.71	100.00	58.24	64.38	99.93	97.09	100.00	100.00	100.00	96.89	100.00	80.42	82.79	80.03	92.47	71.53
	ICARHS	99.70	99.71	100.00	58.24	64.38	99.93	97.09	100.00	100.00	100.00	96.89	100.00	80.42	82.79	80.03	92.47	71.53
	C																	
Octubre	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.27	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	99.87	99.73	100.00	61.58	66.10	100.00	93.66	100.00	99.55	100.00	85.27	100.00	86.70	98.08	74.83	84.77	73.69
	ICARHS	99.87	99.73	100.00	61.58	66.10	100.00	93.66	99.27	99.55	100.00	85.27	100.00	86.70	98.08	74.83	84.77	73.69
	C																	
Noviembre	S ₁ (MO)	95.35	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.41	99.04	100.00	100.00	100.00	96.81	100.00	98.36	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	100.00	100.00	99.93	61.67	71.11	100.00	96.96	100.00	100.00	100.00	85.91	100.00	82.56	97.98	62.32	73.92	74.64

Mes	Índices	Estaciones de monitoreo																
		FRA-01	FRA-02	FRA-10	YAM-10	YAM-25	CHI-20	CHI-21	T1	T2	T3	T4	T7	P5	P2	PC-1	PC-2	QSay4
	ICARHS	95.35	100.00	99.93	61.67	71.11	100.00	96.96	99.04	100.00	100.00	85.91	96.81	82.56	97.98	62.32	73.92	74.64
	C																	
	S ₁ (MO)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.36	100.00	100.00	99.04	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	S ₂ (FQ - M)	99.86	99.84	100.00	60.61	69.14	98.86	81.76	100.00	100.00	100.00	84.84	100.00	74.14	97.68	60.08	68.22	72.12
Diciembre	ICARHS	99.86	99.84	100.00	60.61	69.14	98.86	81.76	100.00	98.36	100.00	84.84	99.04	74.14	97.68	60.08	68.22	72.12
	C																	

Nota. Elaboración propia.

S₁ (M. O.): Subíndice 1 – Materia orgánica, S₂ (FQ - M): Subíndice 2 – Físicoquímico – metal

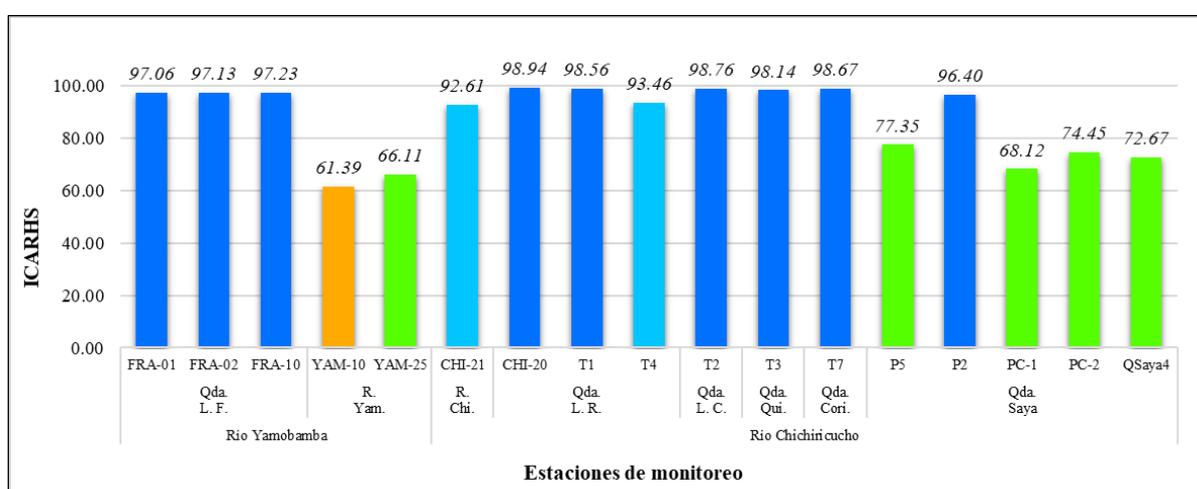
C: Calificación, ▶ Excelente, ▶ Bueno, ▶ Regular, ▶ Malo, ▶ Pésimo.

4.2. Variaciones espaciales

Con relación al objetivo de evaluar el comportamiento espacial de la calidad del agua superficial, la Figura 3 muestra los valores del ICARHS agrupados según los cuerpos de agua y las subcuencas hidrográficas correspondientes a las estaciones de monitoreo, proporcionando una perspectiva clara de cómo varía la calidad del agua dentro de cada sistema fluvial.

Figura 3

ICARHS en Estaciones de Monitoreo por Cuerpo de Agua y Subcuenca hidrográfica



Nota. Qda. L. F.: Quebrada Los Fraylones, R. Yam.: Río Yamobamba, R. Chi.: Río Chichiricucho, Qda. L. R.: Quebrada La Ramada, Qda. L. C.: Quebrada La Cullmullacha, Qda. Qui.: Quebrada Quishuara, Qda. Cori.: Quebrada Coriquin, Qda. Saya: Quebrada Sayapamba.

C: Calificación, ► Excelente, ► Bueno, ► Regular, ► Malo, ► Pésimo.

Se evidenció que, en la subcuenca del Río Yamobamba, todos los puntos ubicados en la quebrada Fraylones presentan una calidad excelente. Mientras que, en el mismo río Yamobamba, el punto YAM 10 presentó calidad mala (**61.39**) y la estación YAM-25 (**66.11**) presentó calidad regular.

Por otro lado, en la subcuenca del Río Chichiricucho, la mayoría de los puntos (66.7%) presentaron calidad entre buena y excelente. Sin embargo, se pudo observar que, en la quebrada Sayapamba, la calidad del agua varía entre regular (P5, PC-1, PC-2 y QSaya4) y excelente (P2).

De acuerdo con la Tabla 6, se evidenció que, todas las estaciones de monitoreo que tienen calidad regular (YAM-25, P5, PC-1, PC-2 y QSaya4) y mala (YAM-10), tienen los Subíndices 1 – Materia orgánica con calidad excelente, esto significa que el Subíndice 2 – Físicoquímico - metal es el responsable de la disminución del ICARHS.

4.3. Variaciones temporales

Con relación al objetivo de analizar las variaciones temporales del ICARHS, se consideraron dos enfoques, el comportamiento anual y el comportamiento mensual.

4.3.1. Comportamiento anual

Se buscó identificar la tendencia de los puntos a través de los años y se agruparon las estaciones según su comportamiento en el periodo de evaluación:

4.3.1.1. Estaciones con calidad generalmente excelente y estable. Las estaciones FRA-01, FRA-02, FRA-10, T1, T2, T3, T7 y CHI-20 han mantenido un ICARHS excelente (cercano o igual a 100) durante la mayor parte del período de estudio. Esto indica que la calidad del agua se ha conservado adecuadamente, sin señales de deterioro significativo. Además, todas estas estaciones muestran una tendencia general de mejora en la calidad del agua desde el año 2018 hasta el año 2023.

4.3.1.2. Estaciones que reflejan recuperación de calidad post-degradación. Entre 2018 y 2019, las estaciones T4, CHI-21, PC-1, PC-2 y QSaya4 mostraron una reducción en sus valores de ICARHS. No obstante, a partir de 2020, todas comenzaron a evidenciar una recuperación. Los cambios más destacados son:

T4: su ICARHS bajó de 99.81 en 2018 a 56.04 en 2019, alcanzando una calidad

excelente (100) en 2023.

CHI-21: descendió de 88.36 en 2018 a 83.10 en 2019, logrando también una calidad excelente (99.06) en 2023.

PC-1: pasó de 74.39 en 2018 a 64.76 en 2019, y actualmente tiene una calidad regular (70.05) en 2023.

PC-2: disminuyó de 83.51 en 2018 a 69.21 en 2019, y presenta una calidad regular (74.84) en 2023.

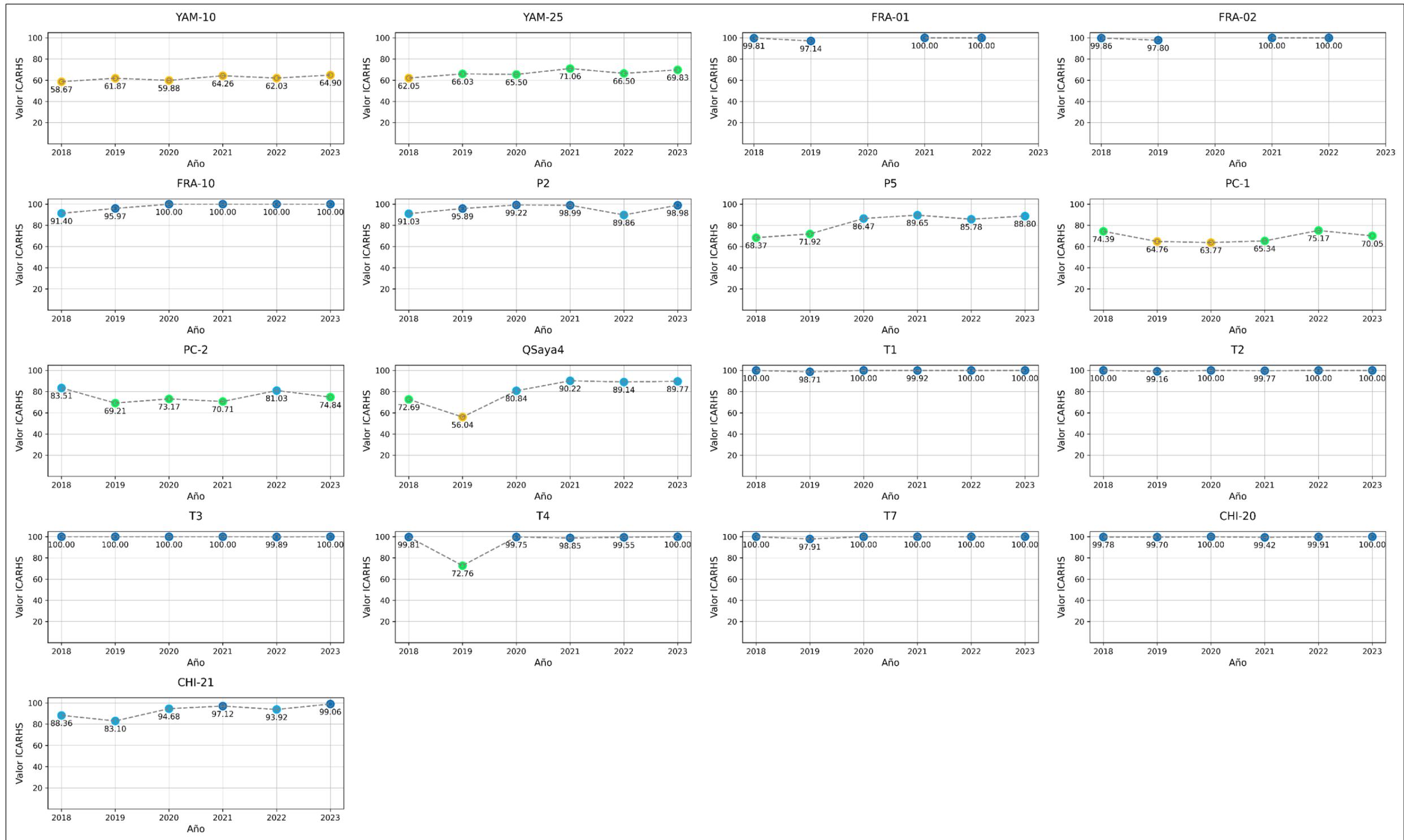
QSaya4: se redujo de 72.69 en 2018 a 56.04 en 2019, alcanzando una calidad buena (89.77) en 2023.

4.3.1.3. Estaciones que muestran una tendencia de mejora continua. Las estaciones YAM-10, YAM-25, P5 y P2 presentan una trayectoria de mejora gradual en la calidad del agua a lo largo del período de estudio. La estación YAM-10 comenzó con una calidad mala, y aunque ha mostrado mejoras constantes, aún se encuentra en la misma categoría (de 58.67 a 64.90). La estación YAM-25 inició con una calidad regular y, aunque todavía se mantiene en este nivel, se observa una tendencia positiva hacia la mejora (de 62.05 a 69.63). La estación P5, que empezó con una calidad regular, ha progresado hasta alcanzar una calidad buena en los últimos años (de 68.37 a 88.8). Por último, la estación P2 inició con una calidad buena en 2018 y ha mejorado continuamente hasta alcanzar una calidad excelente en 2023 (de 91.03 a 98.98).

La Figura 4 muestra la evolución año tras año de los valores de ICARHS para cada estación de monitoreo.

Figura 4

Variación anual de los ICARHS en cada estación de monitoreo



Nota. Elaboración propia.

4.3.2. Comportamiento mensual

Se buscó identificar la tendencia de los puntos a través de los meses y se agruparon las estaciones según su comportamiento en el periodo de evaluación:

4.3.2.1. Estaciones con calidad generalmente excelente y estable de contaminación.

Las estaciones CHI-20, FRA-01, FRA-02, T1, T2, T3 y T7 han mantenido un ICARHS excelente (cercano o igual a 100) durante casi todos los meses del período de estudio. Esto indica que la calidad del agua se ha conservado adecuadamente, sin señales de deterioro significativo. Es preciso señalar que, las estaciones FRA-01 y FRA-02 tienen ligeras reducciones en los meses de mayo y enero respectivamente.

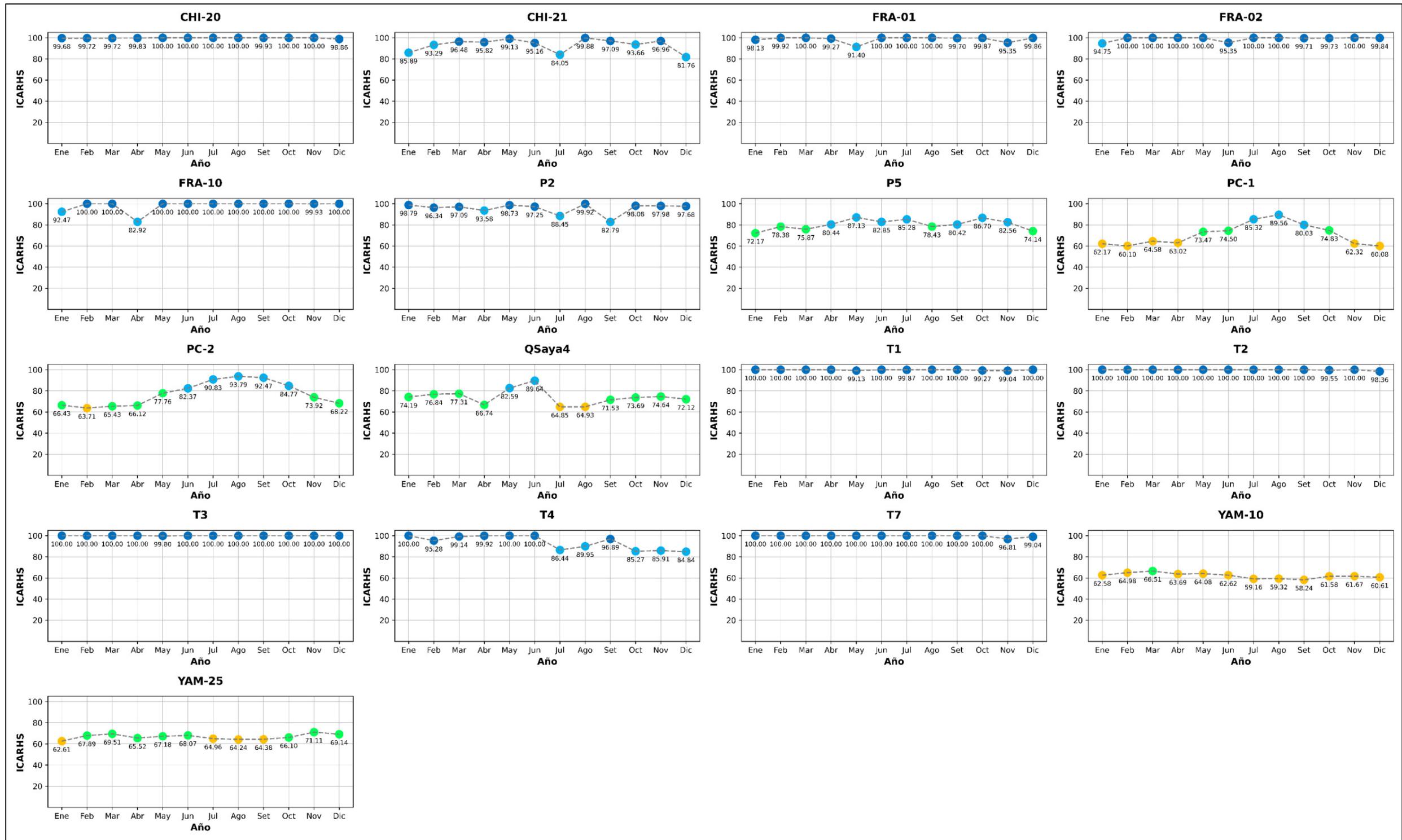
4.3.2.2. Estaciones que muestran mejora durante los meses secos. Las estaciones PC-1 y PC-2 han reflejado una tendencia de mejora en la calidad del agua durante los meses más secos del año, esto se verá con mayor detalle en el ítem 4.4.

4.3.2.3. Estaciones con reducción de calidad en meses críticos. Las estaciones CHI-21, YAM-10 y YAM-25 muestran una calidad del agua significativamente reducida durante los meses de julio; y también durante los meses de diciembre y enero, esto se verá con mayor detalle en el ítem 4.4.

4.3.2.4. Estaciones con comportamiento indefinido. Las estaciones FRA-10, QSaya4, P2, P5 y T4 presentan variaciones significativas en los valores de ICARHS de un mes a otro, sin un patrón estacional claro.

Figura 5

Variación mensual de los ICARHS en cada estación de monitoreo



Nota. Elaboración propia.

4.4. Potenciales fuentes de contaminación

4.4.1. Variación espacial

Los resultados obtenidos para el río Yamobamba muestran los niveles más bajos de calidad de agua entre todas las estaciones de monitoreo. Es importante destacar que, en la sección 3.2.5.3 "Calidad de Agua Superficial – Identificación de las Fuentes Contaminantes" de la III Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Arena, se señala lo siguiente:

“... en la cabecera de la subcuenca del río Yamobamba se localizan la Mina San Simón y una mina de oro activa, denominada M1, las cuales habrían estado afectando significativamente la calidad del agua del río desde antes del inicio de las operaciones de la Unidad Minera La Arena. En la parte media de la subcuenca, también existen labores mineras no rehabilitadas que estarían contribuyendo a la alteración de la calidad del agua superficial, ya impactada en la cabecera. En la zona baja de la subcuenca del río Yamobamba, aunque no se han evidenciado impactos significativos en la calidad del agua, no se descarta la posibilidad de efectos futuros causados por derrames o drenajes ácidos, debido al potencial generador de ácido de las zonas de sulfuros.”

Por otro lado, los resultados para la quebrada Sayapamba muestran los niveles más bajos de subcuenca del Río Chichiricucho, Sin embargo, es importante precisar que, en la sección 3.2.5.3 "Calidad de Agua Superficial – Identificación de las Fuentes Contaminantes" de la III Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Arena, se señala lo siguiente:

“... en la quebrada Sayapamba los niveles elevados de metales pueden estar siendo influenciados por la naturaleza del material parental, principalmente en aquellas zonas donde afloran zonas mineralizadas fuertemente alteradas y que están profundamente meteorizadas.”

4.4.2. Variación anual

Las estaciones con calidad generalmente excelente y estable (FRA-01, FRA-02, FRA-10, T1, T2, T3, T7 y CHI-20) han mantenido un ICARHS excelente (cercano o igual a 100) durante la mayor parte del período de estudio.

Por otro lado, las estaciones que reflejan recuperación de calidad post-degradación (T4, CHI-21, PC-1, PC-2 y QSaya4) mostraron reducción en sus valores de ICARHS desde el año 2018 al año 2019, mostrando recuperación en el año 2023. Este grupo de estaciones de monitoreo puede ser clasificado en dos subgrupos, (1) las estaciones PC-1, PC-2 y QSaya4, ubicadas en la quebrada Sayapamba; y (2) las estaciones T4 y CHI-21. Las estaciones PC-1, PC-2 y QSaya4 presentan una recuperación más lenta y los valores más bajos de este grupo, esto debido a que reciben influencia constante de los aportes de varios afloramientos ubicados en la parte baja del tajo Calaorco, tal como lo señala el Informe 00276-2019-OEFA/DEAM-STEAC, por lo que, estos resultados habrían podido ser ocasionados por las condiciones del entorno. Por otro lado, las estaciones T4 y CHI-21, presentan una recuperación más rápida, en donde la estación T4 se recuperó drásticamente en el año 2020, en ese sentido, es importante precisar que las excedencias de ambas estaciones durante el año 2019 son principalmente de manganeso, por lo que, coincide con lo señalado en el Informe 00276-2019-OEFA/DEAM-STEAC, el cual menciona lo siguiente:

“A pesar de que los parámetros evaluados en el efluente (M1) proveniente de la planta de destrucción de cianuro cumplen con los LMP establecidos en el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, influyen en la calidad del agua de la quebrada La Ramada en el punto T4, debido: 1) al incremento de la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros, sulfatos y metales como aluminio, calcio, cobalto, cobre, manganeso, níquel, sodio, plomo y zinc, donde solo el manganeso superó los ECA para agua, categoría 3 (2015 y

2017); 2) *cambio de facie hidroquímica de bicarbonatada cálcica a sulfatada sódica*; 3) *disminución de la riqueza de perifiton (de 12 a 10 especies) y macroinvertebrados bentónicos (de 8 a 4 especies); así como, la disminución de especies sensibles (de 3 a 1) y facultativas (de 5 a 2), y la aparición de especies tolerantes como Pentaneura sp.*”

Finalmente, las estaciones que muestran una tendencia de mejora continua (YAM-10, YAM-25, P5 y P2) pueden ser clasificadas en dos subgrupos, (1) las estaciones ubicadas en la quebrada Sayapamba (P2 y P5) y (2) las ubicadas en el Río Yamobamba (YAM-10 y YAM-25). Las estaciones P2 y P5 presentan valores elevados principalmente de Mn y pH. Cabe señalar que, este comportamiento ya ha sido identificado en los primeros estudios de línea base y podría estar asociado a la geología local, pues es una zona aledaña a la zona mineralizada. Por otro lado, las estaciones YAM-10 y YAM-25, reciben influencia de labores mineras no rehabilitadas y actividades mineras en operación. Sin embargo, a pesar de las condiciones que influyen sobre estas estaciones, presentan una recuperación progresiva de su calidad hasta la fecha.

4.4.3. Variación mensual

Las estaciones con calidad generalmente excelente y estable (CHI-20, FRA-01, FRA-02, T1, T2, T3 y T7) han mantenido un ICARHS excelente (cercano o igual a 100) durante casi todos los meses del período de estudio. Sin embargo, es importante precisar que, las estaciones FRA-01 y FRA-02 tienen ligeras reducciones en los meses de mayo y enero respectivamente, ambas ocasionadas por Coliformes Totales, por lo que, estas variaciones podrías ser ocasionadas puntualmente por las actividades de ganadería cercanas (Véase Figura 6).

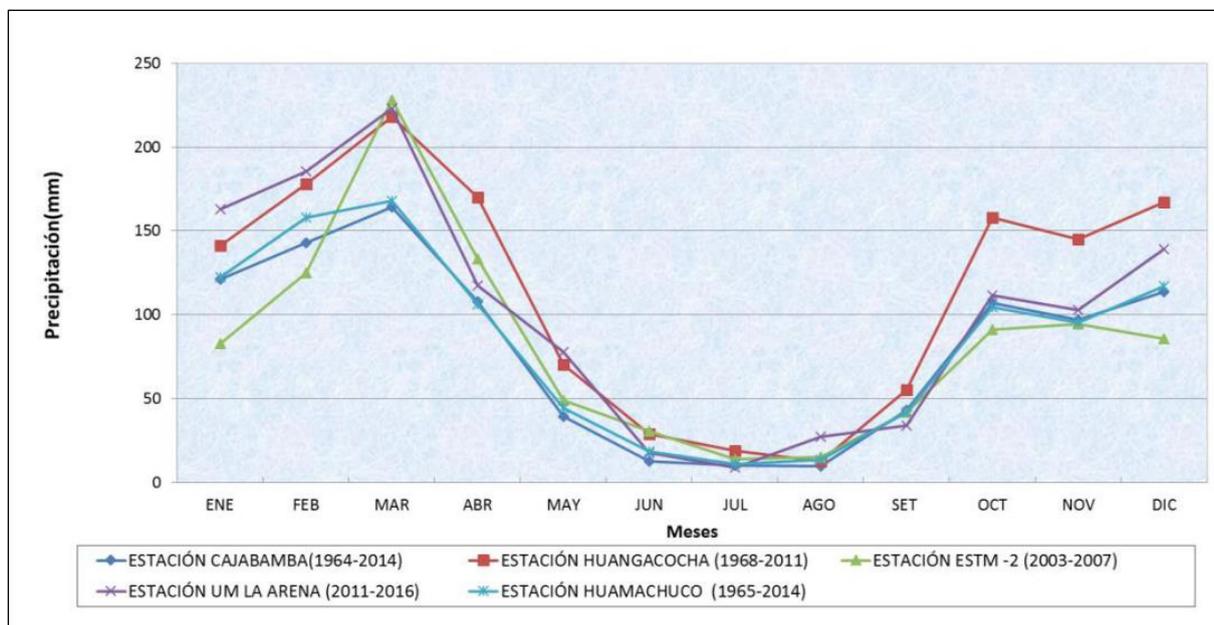
Figura 6

Actividades de ganadería cercanas a los puntos FRA-01 y FRA-02



Nota. Imagen extraída de Google Earth.

Las estaciones que muestran mejora durante los meses secos (PC-1 y PC-2), tendrían este comportamiento debido a la disminución de precipitaciones y la reducción de escorrentía en esta época, lo que probablemente conlleva una menor contaminación proveniente de los aportantes asociados a estas estaciones. El régimen de precipitaciones se puede ver con mayor detalle en la Figura 7.

Figura 7*Precipitación Total Mensual – Promedio Multianual*

Nota. Extraído de la 3ra MEIA La Arena.

Las estaciones con reducción de calidad en meses críticos (CHI-21, YAM-10 y YAM-25) muestran una reducción de la calidad del agua en julio (temporada seca) y en diciembre y enero (temporada húmeda). En los meses secos, la menor cantidad de agua reduciría la dilución de contaminantes, mientras que, en diciembre y enero, el inicio de las lluvias aumentaría la escorrentía, arrastrando sedimentos y contaminantes acumulados, lo que empeora aún más la calidad del agua.

Las estaciones con comportamiento indefinido (FRA-10, QSaya4, P2, P5 y T4), podrían tener este comportamiento por la influencia de múltiples factores que varían mes a mes, como cambios en el uso del suelo o actividades humanas, lo que sugiere una alta sensibilidad a las condiciones cambiantes en su entorno inmediato.

Resumen de las potenciales fuentes de contaminación

Labores no rehabilitadas: Las minas abandonadas puede generar contaminación permanente por drenajes ácidos y metales pesados, con mayor impacto en

periodos secos debido a la menor capacidad de dilución del agua.

Material parental y zonas mineralizadas: Los afloramientos mineralizados aportan contaminantes de origen natural, intensificándose durante la temporada húmeda por el arrastre de escorrentía.

Actividades de ganadería: La ganadería es una fuente puntual y su aporte no presenta una temporalidad específica, dado que no son es un factor natural.

Regímenes de precipitación y escorrentía: Las lluvias influyen de manera estacional: en la temporada seca concentran contaminantes, y en la húmeda arrastran sedimentos acumulados, aumentando la carga.

Efluentes tratados mineros: Los efluentes tratados generan impactos temporales, alterando propiedades como la conductividad eléctrica y metales. A pesar de no exceder los LMP correspondientes, su aporte puede generar una variación considerable. Esta fuente no es estacional, sino que sigue un régimen operativo.

Factores variables: Fuentes como cambios en el uso del suelo o actividades humanas, afectan la calidad del agua. Sin embargo, estos son difíciles de predecir y se encuentran en dinámica constante.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio, se observó que no todas las estaciones ubicadas aguas abajo de los efluentes de la Unidad Minera La Arena presentan valores bajos en la calidad del agua. Esto indica que la proximidad a las operaciones mineras no siempre se traduce directamente en una disminución significativa de los índices de calidad. Sin embargo, Dzhanghi y Atangana (2022) encontraron que las estaciones cercanas a actividades mineras, específicamente GRS26 y GRS21, presentaban una calidad de agua catalogada como "pésima". Los resultados obtenidos del CCME-WQI y del CPI indicaron que los puntos ubicados aguas abajo de las actividades mineras mostraban niveles más altos de contaminación en comparación con las áreas más alejadas de estas operaciones, evidenciando un impacto negativo directo de la minería en la calidad del agua superficial. Por otro lado, Lamare y Singh (2016) hallaron que una de las tres estaciones cercanas a la minería de caliza presentaba una calidad de agua buena, mientras que las otras dos reflejaron una calidad regular. Además, las estaciones más próximas a las plantas de cemento fueron las que mostraron la peor calidad del agua, indicando que las actividades asociadas a las plantas de cemento tienen un impacto más significativo en el deterioro de la calidad del agua que la propia minería de caliza. Este contraste entre estudios sugiere que el tipo de actividad industrial y las prácticas específicas de gestión ambiental pueden influir de manera diferenciada en la calidad del agua, y que no siempre la cercanía a efluentes mineros garantiza una correlación directa con valores bajos en los índices de calidad.

En la presente investigación se observó que las variaciones temporales en los valores del ICARHS no siguen un patrón definido. (a) Desde el enfoque anual, se aprecia una mejora en la calidad del agua en todas las estaciones de monitoreo entre los valores del año 2017 y los valores del año 2023, este incremento no ha sido continuo en todas ellas a lo largo de los años, ya que algunas presentan oscilaciones en sus valores. Según Hilario y Mamani (2021), la

calidad del agua del río Escalera disminuyó durante el periodo 2015-2018, reflejada en una reducción del valor del ICAPE de 73.14 en 2015 a 61.85 en 2018. Según Silvestre (2022), durante el periodo 2017-2019, la calidad de los ríos Ichu, Escalera y Opamayo no mostró una tendencia lineal hacia la mejora; sin embargo, en términos generales, reflejaron un aumento en la calidad del agua. Los valores iniciales de estos ríos fueron 83.9, 93.5 y 66.1 respectivamente, y en 2019 aumentaron a 89.4, 96.6 y 73.7. Por otro lado, la calidad del río Mantaro se redujo ligeramente en este periodo, pasando de 80.7 a 79.1. (b) Desde el enfoque mensual, en esta investigación se observó que no todas las estaciones presentan un comportamiento definido. Según Teves (2022), la calidad del agua muestra una clara variación estacional, evidenciando una mejor calidad durante la temporada húmeda. Este fenómeno se atribuye a que, durante las épocas de mayor precipitación, el incremento en el caudal de los ríos y quebradas favorece la dilución de los contaminantes presentes, mejorando así los valores de los índices de calidad del agua. Asimismo, Pandit et al. (2023) identificaron que las variaciones estacionales afectan significativamente la calidad del agua debido a factores como la escorrentía superficial. En su estudio, también observaron que las lluvias intensas propias de ciertas estaciones contribuyen a diluir los contaminantes existentes. Ambos autores indican que las condiciones climáticas y los patrones de precipitación desempeñan un papel crucial en la dinámica de la calidad del agua. Sin embargo, no es algo que se evidencie completamente en la presente investigación.

En la presente investigación se identificaron diversas fuentes de contaminación de agua, siendo las principales, las actividades mineras, ganadería y condiciones geológicas. Según Hilario y Mamani (2021), la calidad del agua del río Escalera habría venido deteriorándose en los últimos 3 años, posiblemente a causa de los pasivos y la actividad mineros que hasta esa fecha se venían desarrollando. Asimismo, según Dzhangí y Atangana (2022), la calidad del agua en el río Boesmanspruit ha sido negativamente impactada principalmente por las

actividades de minería de carbón en la región, identificando que parámetros como la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, calcio, magnesio, sodio, sulfato y manganeso están asociados directamente con la industria minera, lo que ha llevado a una disminución significativa en la calidad del agua superficial. Por otro lado, Lamare y Singh (2016) identificaron que en el área minera de caliza de Meghalaya, las plantas de cemento tienen un impacto más pronunciado en el deterioro de la calidad del agua que la propia minería de caliza, en donde observaron que las estaciones cercanas a estas plantas presentaban niveles elevados de conductividad eléctrica, turbidez, sulfato, dureza total y calcio, lo que contribuye a una calidad de agua clasificada como "pésima". Finalmente, Pandit et al. (2023) identificó que el drenaje de minas de carbón es la principal fuente de contaminación en el río transfronterizo Shari-Goyain en Bangladesh. Este drenaje ácido estaría deteriorando significativamente la calidad del agua, situándola en categorías de "pésima" a "mala", y representaría una amenaza para la vida acuática y los ecosistemas asociados.

VI. CONCLUSIONES

a) Se realizó el cálculo detallado del ICARHS a nivel mensual, anual y total para cada estación de monitoreo, lo cual permitió identificar variaciones espaciales y temporales del ICARHS durante el periodo 2018-2023 en el área de estudio. Durante el periodo 2018-2023, el cálculo del ICARHS (mensual, anual y total) para cada estación de monitoreo evidenció mayoritariamente condiciones entre “excelente” y “bueno”, sin alcanzar la categoría “Pésima”. A nivel espacial (análisis general por estación), el 52.94% de los resultados fueron “excelentes”, 29.41% “regulares”, 11.76% “buenos” y 5.88% “malos”. En el análisis anual (102 casos), se obtuvo un 52.94% de resultados “excelentes”, 16.67% “buenos”, 16.67% “regulares”, 9.80% “malos” y un 3.92% sin información disponible. Por su parte, el análisis mensual (204 casos) mostró un 56.37% “excelente”, 16.67% “bueno”, 15.20% “regular” y 11.76% “malo”. En conjunto, estos porcentajes cuantitativos reflejan una calidad del agua predominantemente buena a excelente, con algunas variaciones en el tiempo y el espacio, pero sin llegar nunca a condiciones “pésimas”.

b) Se identificó que existen variaciones espaciales significativas en la calidad del agua superficial dentro de las estaciones de monitoreo. En la subcuenca del Río Yamobamba, la calidad del agua muestra contrastes marcados, reflejados en que en la quebrada Fraylones el 100% de las estaciones mantienen una calidad “Excelente”, mientras que las estaciones YAM-10 y YAM-25 muestran calidad “mala” y “regular” respectivamente. Estas diferencias sugieren que el Subíndice 2 – Fisicoquímico - metal es el principal responsable de la disminución del ICARHS en las estaciones con menor calidad. Por otro lado, en la subcuenca del Río Chichiricucho, aunque el 66.7% de las estaciones se mantienen entre “buena” y “excelente”, en la quebrada Sayapamba hasta un 80% de las estaciones presenta resultados que las sitúan en categoría “regular”, evidenciando también una disminución del ICARHS.

c) Se identificó que, a lo largo del período de estudio 2018-2023, la calidad del agua superficial presenta variaciones temporales significativas tanto a nivel anual como mensual en las estaciones de monitoreo. Anualmente, se observó que un 47.06% de las estaciones mantienen una calidad de agua excelente durante todo el periodo de evaluación, un 29.41% de las estaciones experimentan fluctuaciones, evidenciando disminuciones iniciales en el ICARHS seguidas de recuperaciones en años posteriores y un 23.53%, a pesar de presentar valores más bajos que las demás, presentan una tendencia de mejora continua, por lo que, en términos generales, la calidad del agua superficial de todas las estaciones de monitoreo presentó una mejora. Por otro lado, según la evaluación mensual, el 41.18% de las estaciones presentan una calidad generalmente estable y excelente, el 11.76% de las estaciones reflejan patrones donde se evidencia una mejora durante los meses secos, el 17.65% de las estaciones registran reducción de la calidad del agua en meses críticos, como julio, diciembre y enero, sin presentar un patrón estacional uniforme; y el 29.41% de las estaciones no presentan un patrón definido. Estas variaciones temporales indicarían que la calidad del agua está influenciada por una combinación de factores específicos de cada estación, incluyendo condiciones climáticas, como las precipitaciones y la escorrentía, y actividades humanas o naturales en su entorno, lo que afecta de manera diferenciada el ICARHS en cada ubicación.

d) Se identificaron, como principales fuentes de contaminación, las actividades mineras activas y los pasivos mineros no rehabilitados en la subcuenca del Río Yamobamba, afectando negativamente la calidad del agua en estaciones de este río, como YAM-10 y YAM-25. En la quebrada Sayapamba, los elevados niveles de metales se atribuyen a la naturaleza del material parental y a afloramientos mineralizados fuertemente alterados y meteorizados. Además, se concluye que factores como las actividades de ganadería cercanas influyen en incrementos puntuales de coliformes totales en algunas estaciones de la quebrada Fraylones, específicamente FRA-01 y FRA-02. Aunque las variaciones en las

precipitaciones y la esorrentía pueden afectar la calidad del agua en determinados momentos o puntos, este factor no se evidenció de manera determinante en las estaciones de monitoreo durante el periodo de estudio. Esto sugiere que, si bien las condiciones climáticas pueden influir en la dinámica de los contaminantes, su impacto no fue significativo ni consistente como para alterar los patrones observados en la calidad del agua en las estaciones evaluadas, siendo las fuentes de contaminación identificadas las que desempeñan un papel más predominante en la variación del ICARHS.

VII. RECOMENDACIONES

a) Se sugiere desarrollar programas de capacitación y sensibilización para las comunidades cercanas, en coordinación con las autoridades mineras y locales, orientados a promover buenas prácticas ambientales. Esto incluiría la educación sobre el manejo responsable del agua y la importancia de mantener la calidad de los recursos hídricos para la sostenibilidad del ecosistema y la salud de la población.

b) Se recomienda fomentar la investigación para comprender mejor las causas de las variaciones espaciales y temporales del Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). Esto permitirá diseñar estrategias específicas que respondan a las condiciones locales, incluyendo estudios detallados sobre las fuentes potenciales de contaminación y la influencia de factores climáticos en la calidad del agua.

c) Se sugiere al Ministerio del Ambiente (MINAM), revisar y actualizar las normativas de calidad del agua para asegurar que los estándares reflejen las condiciones reales del ecosistema y protejan efectivamente los cuerpos de agua superficiales.

VIII. REFERENCIAS

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima: Autoridad Nacional del Agua. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1475.pdf>
- Arias-Gonzales, J. (2021). *Diseño y Metodología de la Investigación*. Arequipa: Enfoques Consulting EIRL. https://apps.utel.edu.mx/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- Asadollahfardi, G. (2000). *A mathematical and experimental study on the surface water quality in Tehran*. [Tesis de Doctorado]. London University.
- Asadollahfardi, G. (2015). *Water Quality Management: Assessment and Interpretation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44725-3>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R., & Weiber, T. (2023). *Multivariate Analysis*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08893-7>
- Balkis, N. (2012). *Water Pollution*. Books on Demand. <https://doi.org/10.5772/1418>
- Berthouex, P., y Brown, L. (2001). *Statistics for Environmental Engineers 2nd Ed*. Lewis Publishers. <https://doi.org/10.1201/9780367802691>
- Bharti, N., y Katyal, D. (2011). *Water quality indices used for surface water vulnerability assessment*. International Journal of Environmental Sciences. https://www.researchgate.net/publication/285977924_Water_Quality_Indices_Used_for_Surface_Water_Vulnerability_Assessment
- Calazans, G. (2015). *Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba, utilizando técnicas estatísticas multivariadas*. [Tesis de maestría,

Universidade Federal de Minas Gerais]. Repositório Institucional da UFMG.
<http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9WEKNW>

Ley N° 28611. Ley General del Ambiente. (13 de octubre de 2005).
<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1466.pdf>

Cook, P., y Wheeler, C. (2000). *Using Statistics to Understand the Environment*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203977286>

Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Aprueban la Política Nacional del Ambiente (22 de mayo de 2009).
<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1432.pdf>

Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Aprueban Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (24 de septiembre de 2010).
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf?v=1561937448>

Dzhangi, T., Atangana, E. (2024) Evaluation of the impact of coal mining on surface water in the Boesmanspruit, Mpumalanga, South Africa. *Environmental Earth Sciences*, 83(6). 1-21. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11431-6>

Environmental Protection Agency [EPA]. (2006). *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. Environmental Protection Agency.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/900B0D00.PDF?Dockey=900B0D00.PDF>

Fanlo, A. (2019). La protección del agua y de sus ecosistemas en la directiva marco del agua: Una valoración crítica desde España. *Revista Aranzadi de derecho ambiental*, 43(1), 53-85.

- Farnham, I., Singh, A., Stetzenbach, K., y Johannesson, K. (2002). *Treatment of nondetects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data*. Elsevier Science.
[https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(01\)00201-5](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(01)00201-5)
- Global Water Partnership [GWP]. (2009). *A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins*. Elanders.
<https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/a-handbook-for-integrated-water-resources-management-in-basins-inbo-gwp-2009-english.pdf>
- González, M., Perez, A., Orozco, C., Rodriguez, F., y Alfayate, J. (2011). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Ediciones Paraninfo S.A.
- Harris, R. (2001). *A primer of Multivariate Statistics*. (5^a ed.). Psychology Press.
<https://doi.org/10.4324/9781410600455>
- Hilario, M. y Mamani, L. (2021). *Variación del Índice de Calidad de Agua aplicando la metodología ICA-PE, del río Escalera, en el distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica durante el periodo 2015 - 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1babbeb2-9b09-481f-a117-1116cdc3f358/content>
- Hill, M. (2010). *Understanding Environmental Pollution*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108395021>
- Ibañez, J., Hernández, M., Doria, M., Fregoso, A., y Mohan, M. (2013). *Química ambiental*. McGraw-Hill interamericana.
- Lamare, R., y Singh O. (2016) Application of CCME water quality index in evaluating the water quality status in limestone mining area of Meghalaya, India. *Ecoscan*, 10(1).

149-154.

https://www.researchgate.net/publication/308801145_R_E_Lamare_O_P_Singh_2016_APPLICATION_OF_CCME_WATER_QUALITY_INDEX_IN_EVALUATING_THE_WATER_QUALITY_STATUS_IN_LIMESTONE_MINING_AREA_OF_MEGHALAYA_INDIA

Lewinsohn, J. (2020). *Estado del arte de las estadísticas mineras del uso de agua y energía en los países andinos*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/678eb99c-042a-4bdc-8956-9c03cabf542b/content>

Lumb, A., Sharma, T., y Bibeault, J.-F. (2011). A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. *Water Quality, Exposure and Health* 3(1), 11-24.

Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro Blanco del Agua en España*. Centro de Publicaciones. <https://hispagua.cedex.es/node/66958>

Naciones Unidas [ONU]. (2023). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: Alianzas y cooperación por el agua*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386807>

Navidi, W. (2014). *Statistics for Engineers and Scientists*. McGraw-Hill Higher Education. https://www.academia.edu/42914543/Estadistica_para_Ingenieros_y_Cientificos_William_Navidi

Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2021). *Gobernanza del Agua en Perú*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/es/publications/gobernanza-del-agua-en-peru_f826f55f-es.html

- Orozco, M., Perez, A., Rodriguez, F., Gonzales, M., y Alfayate, J. (2004). *Contaminación Ambiental: Una visión desde la química*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Pandit, D., Haque, M., Harun-Al-Rashid, A., Sarker, B., Hossain, M., Schneider, P., y Kunda, M. (2023). Spatiotemporal Variations in Water Quality of the Transboundary Shari-Goyain River, Bangladesh. *Sustainability*, 15(6), 5218.
<https://doi.org/10.3390/su15065218>
- Perreault, T., Budds, J., Himley, M., Madrid, E., Roca, D., Sosa, M., López, E., Vos, J., Boelens, R., y Perales, V. (2014). *Minería, agua y justicia social en los Andes: experiencias comparativas de Perú y Bolivia*. Justicia Hídrica, Centro de Ecología y Pueblos Andinos.
https://www.researchgate.net/publication/356185336_Mineria_Agua_y_Justicia_Social_en_los_Andes_Experiencias_comparativas_de_Peru_y_Bolivia
- Ritabrata, R. (2019). An Introduction to Water Quality Analysis. *Essence - International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*.
https://www.researchgate.net/publication/352907194_An_Introduction_to_Water_Quality_Analysis
- Salas, N. y Segura, W. (2022). *Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en la Minería Legal e Ilegal, Ayacucho-Arequipa, 2017 – 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Cesar Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91620/Salas_DNA-Segura_PWA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Spellman, F. (2021). *The Science of Environmental Pollution..* (4^a ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781003180906>

Teves, L. (2021). *Comportamiento espacio temporal de Índice de Calidad del Agua en la cuenca del río Ilave.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano.
https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18680/Luz_Marina_Teves_Ponce.pdf?sequence=1&isAllowed=y

United States Geological Survey [USGS]. (2017). *La Ciencia del Agua para Escuelas: Calidad del Agua.* USGS. <https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>

Vargas, B. (2021). *Análisis espaciotemporal del Índice de la Calidad ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya-Puno.* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Cesar Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71364/Vargas_MBE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

IX. ANEXO

Anexo A Matriz de consistencia

TITULO: “ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL BASADA EN MONITOREOS DE LA UNIDAD MINERA LA ARENA - PERIODO 2018-2023”

Objetivos	Problema	Hipótesis	Variable	Indicadores
<p>Objetivo General</p> <p>- Evaluar la calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena durante el periodo 2018-2023.</p>	<p>Problema General</p> <p>- ¿Cómo varía la calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena durante el periodo 2018-2023?</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>- La calidad del agua superficial en las estaciones de monitoreo de la Unidad Minera La Arena ha disminuido significativamente durante el periodo 2018-2023.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Calidad del agua superficial</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de investigación: Descriptivo y correlacional.</p> <p>Diseño de investigación: No experimental y longitudinal</p> <p>Población: Todas las posibles muestras de agua superficial en la zona de estudio durante el período comprendido entre 2018 y 2023</p> <p>Muestra: Datos de calidad del agua superficial recogidos en 17 puntos de monitoreo establecidos como parte de los compromisos ambientales de la Unidad Minera La Arena, durante el periodo 2018 - 2023.</p> <p>Instrumentos: Informes de monitoreo</p>
<p>Objetivos Específicos</p> <p>- Calcular el ICARHS mensual, anual y total para cada estación de monitoreo durante el periodo 2018-2023.</p> <p>- Identificar variaciones espaciales del ICARHS entre las estaciones de monitoreo durante el periodo 2018-2023.</p> <p>- Identificar variaciones temporales del ICARHS en cada estación, considerando tendencias mensuales y anuales.</p> <p>- Identificar posibles fuentes de contaminación causantes de la variación de los ICARHS.</p>	<p>Problemas Específicos</p> <p>- ¿Cuáles son los valores mensuales, anuales y totales del ICARHS para cada estación en el período 2018-2023??</p> <p>- ¿Cómo varía espacialmente el ICARHS entre las estaciones de monitoreo durante el periodo 2018-2023?</p> <p>- ¿Qué tendencias temporales muestra el ICARHS en cada estación durante el periodo 2018-2023?</p> <p>- ¿Cuáles son las posibles causas que explican la variación del ICARHS durante el período 2018-2023?</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>- Los valores mensuales, anuales y totales del ICARHS muestran variaciones significativas entre las diferentes estaciones de monitoreo y periodos de evaluación.</p> <p>- Las estaciones de monitoreo aguas debajo de los efluentes de la U.M. La Arena presentan los valores más bajos en el ICARHS.</p> <p>- El ICARHS en cada estación de monitoreo presenta tendencias y patrones mensuales y anuales definidos.</p> <p>- Las variaciones observadas en el ICARHS están asociadas significativamente con fuentes de contaminación específicas, principalmente derivadas de las actividades mineras y la geología en la zona de estudio.</p>	<p>Variable independiente 1</p> <p>Tiempo</p> <p>Variable independiente 2</p> <p>Espacio</p>	

Nota: Elaboración propia

Anexo B Estándares de Calidad Ambiental Para Agua

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Títicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precítese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a
Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co (uS/cm)	15	100 (a)	**
Conductividad	(uS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₁ - C ₂₄)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)		1,0	1,0	1,0
Bromofórmio	mg/L	0,1	**	**
Clorofórmio	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromoclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
II. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vóviro cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ($\text{NO}_2\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CA Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA Bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CA Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,008	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Benito	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,06
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4,43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,238	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,084	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICO- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cianuros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	8,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	\geq 5	\geq 5	\geq 5	\geq 4	\geq 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	\leq 25	\leq 100	\leq 400	\leq 100	\leq 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Taño	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000036	0,0000036	0,0000036	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	Et: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7.0	41.00	29.00	20.00	14.00	9.40	6.60	4.40	3.10
7.2	26.00	18.00	12.00	8.70	5.90	4.10	2.80	2.00
7.4	17.00	12.00	7.60	5.30	3.70	2.60	1.80	1.20
7.6	10.00	7.20	5.00	3.40	2.40	1.70	1.20	0.84
7.8	6.60	4.70	3.10	2.20	1.50	1.10	0.75	0.53
8.0	4.10	2.90	2.00	1.40	0.97	0.69	0.47	0.34
8.2	2.70	1.80	1.30	0.87	0.62	0.44	0.31	0.23
8.4	1.70	1.20	0.81	0.56	0.41	0.29	0.21	0.16
8.6	1.10	0.75	0.53	0.37	0.27	0.20	0.15	0.11
8.8	0.69	0.50	0.34	0.25	0.18	0.14	0.11	0.08
9.0	0.44	0.31	0.23	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07
Salinidad 20 g/kg								
7.0	44.00	30.00	21.00	14.00	9.70	6.60	4.70	3.10
7.2	27.00	19.00	13.00	9.00	6.20	4.40	3.00	2.10
7.4	18.00	12.00	8.10	5.60	4.10	2.70	1.90	1.30
7.6	11.00	7.50	5.30	3.40	2.50	1.70	1.20	0.84
7.8	6.90	4.70	3.40	2.30	1.60	1.10	0.78	0.53
8.0	4.40	3.00	2.10	1.50	1.00	0.72	0.50	0.34
8.2	2.80	1.90	1.30	0.94	0.66	0.47	0.31	0.24
8.4	1.80	1.20	0.84	0.59	0.44	0.30	0.22	0.16
8.6	1.10	0.78	0.56	0.41	0.28	0.20	0.15	0.12
8.8	0.72	0.50	0.37	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08
9.0	0.47	0.34	0.24	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07
Salinidad 30 g/kg								
7.0	47.00	31.00	22.00	15.00	11.00	7.20	5.00	3.40
7.2	29.00	20.00	14.00	9.70	6.60	4.70	3.10	2.20
7.4	19.00	13.00	8.70	5.90	4.10	2.90	2.00	1.40
7.6	12.00	8.10	5.60	3.70	2.40	1.80	1.30	0.90
7.8	7.50	5.00	3.40	2.40	1.70	1.20	0.81	0.56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8.0	4.70	3.10	2.20	1.60	1.10	0.75	0.53	0.37
8.2	3.00	2.10	1.40	1.00	0.69	0.50	0.34	0.25
8.4	1.90	1.30	0.90	0.62	0.44	0.31	0.23	0.17
8.6	1.20	0.84	0.59	0.41	0.30	0.22	0.16	0.12
8.8	0.78	0.53	0.37	0.27	0.20	0.15	0.11	0.09
9.0	0.50	0.34	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7.0 a 9.0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Anexo C Índice de Calidad Ambiental



CUT: 523 43-2020

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 084 -2020-ANA

Lima, 13 MAYO 2020



VISTO:

El Informe Técnico N° 010-2020-ANA-DCERH-AGITN de la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos y el Informe Legal N° 235-2020-ANA-OAJ de la Oficina de Asesoría Jurídica; y,



CONSIDERANDO:

Que, conforme el numeral 3) del artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la Autoridad Nacional del Agua tiene por función, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;



Que, mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM se aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, y se establece que en cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua, fuera de la zona de mezcla;



Que, en ese sentido, con Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA se aprueba la "Metodología del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE), aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales", como indicador ambiental para facilitar la interpretación del estado de la calidad del agua, sobre la base de los valores de los parámetros de las categorías de los ECA para Agua;

Que, según establece el literal a) del artículo 38 del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos: "Elabora, propone y supervisa la implementación de normas en materia de protección y recuperación de la calidad de los recursos hídricos";

Que, bajo ese contexto, con documento del visto, la citada Dirección de Línea remite la propuesta "Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)", cuyo objeto es establecer mejoras en la metodología ICA-PE, toda vez que durante su vigencia se advirtió que agrupa de manera integral parámetros que no permiten evidenciar la afectación real al cuerpo de agua por punto de muestreo;

Que, asimismo el citado Informe refiere que, de la revisión de la información procedente de las actividades de vigilancia de la calidad del agua superficial (monitoreos, identificación de fuentes contaminantes y diagnósticos), se ha logrado identificar parámetros registrados con mayor frecuencia en los cuerpos naturales de agua, por vertiente hidrográfica, y según su clasificación;



Que, la propuesta de Metodología ICARHS, actualiza la metodología ICA-PE, al compilar y representar gráficamente grandes cantidades de datos correspondientes a los resultados de los monitoreos de la calidad de agua realizados por la Autoridad Nacional del Agua, contribuyendo a la evaluación del estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua, calificándolo de forma simplificada y comprensible;

Que, en ese sentido, resulta necesario aprobar la propuesta de "Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)", y dejar sin efecto la metodología aprobada por Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA;



Estando a lo opinado por la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos, con el visto de la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Gerencia General, y en uso de las facultades previstas por el artículo 12° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1.- Aprobación

Aprobar la metodología: "Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)", que en anexo forma parte integrante de la presente resolución.



ARTÍCULO 2.- Derogación

Dejar sin efecto la Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA, que aprobó la "Metodología del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE), aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales".

ARTÍCULO 3.- Publicación

Disponer la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano, y del anexo: "Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)" en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe.

Regístrese, comuníquese, y publíquese.




AMARILDO FERNÁNDEZ ESTELA
 Jefe
 Autoridad Nacional del Agua

ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES (ICARHS)



ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES (ICARHS)

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

Ing. Jorge Montenegro Chavesta
Ministro de Agricultura y Riego

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

Ing. Amarildo Fernández Estela
Jefe

Gerente General

Ing. José Luis Aguilar Huertas
Gerente

Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos

Abog. Eladio M. R. Núñez Peña
Director

Proyecto de Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Diez Cuencas

Ing. Juan Carlos Sevilla Gildemeister
Director Ejecutivo

Equipo Técnico:

Ing.	Flor de María Huamani Alfaro	Especialista de la DCERH
Quim.	Daniel Paulino Medrano Mallqui	Especialista de la DCERH
Blga.	Lizeth Anani Cárdenas Villena	Especialista de la DCERH
Ing.	Lourdes Escobar Quispe	Especialista del PGIRH
Ing.	Fredd Carlos Holguin Valdivia	Especialista del PGIRH
Blga.	Jenny Catherine Rodríguez Horna	Especialista de la DCERH
Ing.	Ana Cecilia Torres Turriate	Especialista de la DCERH



Calle Diecisiete N° 355 – Urbanización El Palomar – San Isidro
Teléfono: 2243298 Anexo: 140
www.ana.gob.pe

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. OBJETIVO.....	3
III. ALCANCE	3
IV. BASE LEGAL.....	4
V. ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL	4
5.1 Antecedentes	4
5.2 Definición.....	4
5.3 Condiciones generales.....	5
VI. METODOLOGÍA	6
6.1 Determinación de la zona de estudio	6
6.2 Recopilación de información.....	6
6.3 Cálculo del ICARHS.....	7
VII. BIBLIOGRAFÍA	11



METODOLOGIA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES ICARHS

I. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es uno de los principales desafíos que afrontarán las sociedades en la actualidad. La degradación de la calidad del agua deriva directamente en problemas ambientales, sociales y económicos. La disponibilidad del recurso hídrico en el mundo está cada vez más limitada, debido al aumento de la contaminación del agua, provocado por el vertido de grandes cantidades de aguas residuales insuficientemente tratadas o sin ningún tipo de tratamiento previo a los ríos, lagos, acuíferos y aguas costeras. (UNESCO, 2015)¹.

Los cambios en las características físicas y químicas de la calidad del agua, se encuentran influenciados por la interacción combinada de diversos procesos naturales (condiciones geológicas, erosión, entre otros) y de actividades antropogénicas.

La gestión de la calidad del agua en el mundo ha ido evolucionando a través de los años, varios países han desarrollado estudios e indicadores para la evaluación de la calidad de los recursos hídricos, es así que han implementado índices de calidad del agua como una metodología que califica la calidad del recurso. Los primeros países que desarrollaron e implementaron este método fueron Alemania, Estados Unidos, Canadá y España, y los recientes como México, Brasil, Colombia, entre otros. Estos índices tuvieron diferentes orientaciones y objetivos por cada país, referido a la evaluación de la calidad del agua de consumo poblacional, protección biológica o ecológica, entre otros. Los índices de calidad ambiental son herramientas que proponen y buscan otras alternativas para evaluar la calidad de los recursos hídricos.

En ese mismo contexto, en el año 2015 los países miembros de las Naciones Unidas adoptaron la Agenda 2030: un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar la vida de las personas en todo el mundo, a través del logro de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Al respecto, el ODS 6 está orientado a garantizar la disponibilidad del agua de buena calidad, y que esta a su vez sea gestionada de manera sostenible. En el Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el Punto Focal para promover el cumplimiento del ODS6, a través de la implementación de metodologías y medición de indicadores, mediante los cuales se muestran los avances para la consecución del referido objetivo.

En el marco de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), se crea el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos y se designa a la ANA como ente rector y máxima autoridad técnico normativa en materia de recursos hídricos del país, cuya finalidad es asegurar la gestión integrada, participativa y multisectorial del agua, además de desarrollar acciones de vigilancia, control y fiscalización, para asegurar la preservación y conservación de las fuentes naturales de aguas y de los bienes naturales asociados a estas².

El Artículo 6 del Reglamento de la citada Ley establece que la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH); promueve, en el ámbito de la unidad hidrográfica, el manejo y desarrollo coordinado del uso y aprovechamiento multisectorial del agua con los recursos



¹ Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua.

² Artículo 15 de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.

naturales vinculados a esta, orientado a lograr el desarrollo sostenible del país sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

La ANA desde el año 2009 viene realizando monitoreos de la calidad de los recursos hídricos superficiales, a fin de evaluar el estado de su calidad de las fuentes naturales de agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA para Agua) según la categoría asignada por la Autoridad.

Por su parte, la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos (DCERH), organiza y conduce, a nivel nacional, las acciones en materia de evaluación, conservación de la cantidad, así como protección y recuperación de la calidad de los recursos hídricos³.

Por lo expuesto, es necesario contar con una herramienta que permita resumir datos complejos de calidad de agua y facilite su comprensión, interpretación y comunicación acorde a la realidad nacional del país; para lo cual se ha elaborado la "Metodología para la Determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales ICA RHS", aplicado en los cuerpos de agua continentales superficiales.

II. OBJETIVO

Establecer la metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS), que contribuya en la evaluación del estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua calificándolo de forma simplificada y comprensible.

III. ALCANCE

El alcance es de aplicación obligatoria para la Autoridad Nacional del Agua como parte de la elaboración de los Diagnósticos de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales presentados por la unidad hidrográfica de interés. Y de manera referencial en el ámbito nacional por otras entidades y público en general vinculados con los recursos hídricos.



³ Artículo 37° del Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI, Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua.

IV. BASE LEGAL

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y modificatorias.
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos y modificatorias.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias.
- Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI, Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua.
- Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.
- Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA, que aprueban la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos.
- Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA, aprueba la Clasificación de cuerpos de agua continentales superficiales.

V. ÍNDICES DE CALIDAD AMBIENTAL

5.1 ANTECEDENTES

Los índices de calidad ambiental, constituyen un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo siendo la valoración de la calidad del agua en una escala de 0 -100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente.

Estos índices han tenido un uso generalizado desde su creación y son empleados en diferentes investigaciones para clasificar la aptitud de las aguas para disímiles usos, con características propias y generalmente alcanzan resultados óptimos en zonas aplicadas (Amado et al., 2006; Sadiq y Tesfamariam, 2007; Sánchez et al., 2007; Królak et al., 2009; Lermontov et al., 2009; Beamonte et al., 2010; Gazzaz et al., 2012; Srebotnjak et al., 2012; Ma et al., 2013); los cuales son empleados en países como México, Canadá, Estados Unidos, Colombia, Brasil, Chile, entre otros.

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés), el cual propone una evaluación más amplia de la calidad del agua en un periodo de tiempo determinado teniendo en cuenta el número de parámetros que superan un estándar de referencia, el número de datos que no cumplen con el mencionado estándar y la magnitud de superación (CCME, 2001).

5.2 DEFINICIÓN

Los factores de calidad y cantidad del agua en el Perú son variables, debido a las diferentes características presentes en su territorio. Por lo cual este índice comprende una adaptación a la fórmula utilizada en la metodología Canadiense (CCME_WQI) conforme a las necesidades, condiciones específicas y legislación en materia de recursos hídricos.

En tal sentido, el ICARHS se define como una herramienta matemática que integra una cantidad de parámetros, cuyo análisis permite transformar estos datos en un valor que califica el estado de la calidad de los recursos hídricos en un (1) punto de muestreo.



La presente metodología no incluye a los cuerpos de agua lénticos.

5.3 CONDICIONES GENERALES

5.3.1 Estándar de Calidad Ambiental para Agua

El ECA para Agua aprobado por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, cuenta con cuatro (4) categorías y diecisiete (17) subcategorías. De las cuales para recursos hídricos superficiales lénticos aplican tres (3) categorías y cuatro (4) subcategorías.

Categoría 1: Poblacional y recreacional

- a) **Subcategoría A:** Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
- A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
 - A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
 - A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

- a) **Subcategoría D1:** Riego de vegetales.
- Agua para riego no restringido.
 - Agua para riego restringido.
- b) **Subcategoría D2:** Bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

- a) **Subcategoría E2:** Ríos
- Ríos de la costa y sierra.
 - Ríos de la selva.

5.3.2 Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales

La Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales establece las categorías: categoría 1 A2, categoría 3 y categoría 4 para cuerpos lénticos. En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua a través del procedimiento de clasificación, se aplica la categoría del recurso hídrico al que se tributa, previo análisis de esta Autoridad, conforme al artículo 4, de la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA.



VI. METODOLOGÍA

El procedimiento del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS), cuenta con 3 etapas que se describen a continuación (ver **Figura 1**).

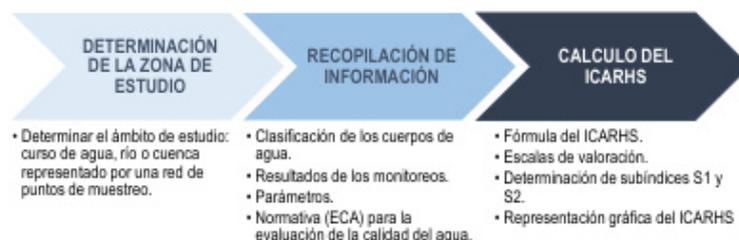


Figura 1 Etapas del ICARHS

6.1 DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El cálculo del ICARHS, se podrá desarrollar en los cursos de agua superficiales lóticos utilizando información del punto de muestreo, el cual debe tener información histórica de los monitoreos anteriores (como mínimo 4 monitoreos para 1 punto de muestreo). Su determinación forma parte de la elaboración de los Diagnósticos de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales presentados para la unidad hidrográfica de interés.

6.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Como base para la determinación del ICARHS, es necesario contar con diferentes condiciones, las cuales se explican a continuación:

6.2.1 Resultados de los monitoreos de calidad de agua

Los resultados provienen de la evaluación del estado de la calidad del agua de la cuenca (o parte de un curso de agua) comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA para Agua) vigente.

Para el desarrollo de la presente metodología, es necesario contar con uno (1) o varios puntos de muestreo ubicados a lo largo del cuerpo natural de agua, conforme al Protocolo Nacional de Monitoreo vigente.

Se debe ordenar toda la información histórica recopilada de los monitoreos de calidad de agua desarrollados en el punto de muestreo. Cabe resaltar, que se requiere como mínimo 4 monitoreos para 1 punto de muestreo (se recomienda que 2 muestreos sean en época de avenida y 2 en época de estiaje).

6.2.2 Parámetros

La presente metodología contempla veinte (20) parámetros, los cuales se encuentran agrupados por su naturaleza (Materia orgánica y físico-químico Metal), según las categorías asignadas a los cuerpos naturales de agua, en función de la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales⁴. En el **Cuadro 1**, se presentan los



⁴ Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA, Aprueban la clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales.

parámetros necesarios para determinar el ICARHS en función de la información histórica, necesidades y condiciones específicas. Se efectuará el cálculo con la información existente, sin embargo, a partir de la aprobación de la presente metodología, se deben de considerar como mínimo todos los parámetros señalados en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1: Parámetros a evaluar en el ICARHS

	Categoría 1	Categoría 3	Categoría 4
	Subcategoría A2 1/	2/	Subcategoría E2 3/
Materia orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	X	X
	Demanda química de oxígeno (DQO)	X	X
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	X	X
	Coliformes termotolerantes	X	X
	Fósforo total	X	X
	Amoníaco - N	X	
	Nitratos (NO ₃ ⁻)		
	Hidrocarburos totales de petróleo 4/		X
			X
Físico-químico Metal	Potencial de hidrógeno (pH)	X	X
	Arsénico	X	X
	Aluminio	X	X
	Manganeso	X	X
	Hierro	X	X
	Cadmio	X	X
	Plomo	X	X
	Boro 5/	X	X
	Cobre		X
	Mercurio		X
	Zinc		X
	Sólidos suspendidos totales		X

Nota: 1/ Poblacional y recreacional: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. 2/ Riego de vegetales y bebida de animales. 3/ Conservación del ambiente acuático (Ríos de la Costa, Sierra y Selva), 4/ Aplica para la vertiente del Amazonas con categoría E2 ríos de la selva. 5/ Aplica para la vertiente del Pacífico (zona sur).

Elaboración: Autoridad Nacional del Agua, DCERH.

6.3 CÁLCULO DEL ICARHS

6.3.1 Fórmula base del ICARHS

Se aplica la fórmula elaborada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI)⁵.



$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

⁵ Desarrollada por el Consejo de Ministros del Ambiente de Canadá y modificada por los Ministerios del Ambiente de Alberta y Columbia Británica (provincias de Canadá).

F1- Alcance:

Representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA para Agua) vigente⁶, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}}$$

F2- Frecuencia: representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA para Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F_2 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que NO cumplen los ECA}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}}$$

Datos = Resultados de los monitoreos

F3- Amplitud: Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left(\frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

Suma Normalizada de Excedentes (SNE)

$$\text{Suma Normalizada de Excedentes} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente}_i}{\text{Total de Datos}} \right)$$

EXCEDENTE, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA para Agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA- Agua, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA para Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el



⁶ Según D.S. N° 004-2017-MINAM

Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}} \right) - 1$$

Una vez obtenido el valor de los factores (F_1 , F_2 , y F_3) se procede a realizar el **Cálculo de cada subíndice**:

6.3.2 Escalas de valoración

El resultado del ICARHS se presenta como un número adimensional comprendido entre 0 y 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, este valor califica el estado de la calidad del agua, como **Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente**, (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2: Valoración del ICARHS

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RGB)	Interpretación
95 – 100	Excelente	0 112 255	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
80 – 94	Bueno	0 197 255	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 - 79	Regular	85 255 0	La calidad de agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento
45 - 64	Malo	255 170 0	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento
0 - 44	Pésimo	255 0 0	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan tratamiento

Nota: Para la visualización gráfica usar los colores RGB "Modelo Cromático establecido para rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue)". **Fuente:** Metodología Canadiense (CCME_WQI).

6.3.3 Determinación de subíndices

El cálculo del ICARHS, depende de dos (2) subíndices, que serán asignados como S1 y S2, los que se calcularán en función de parámetros determinados que guardan relación entre sí, y la calificación final será determinada por el resultado de menor valor y calificación crítica, ver **Figura 2**.

$$\text{ICARHS} = \text{mín.} (S_1, S_2)$$

Ecuación (2)

mín.: mínimo

S1: Subíndice 1

S2: Subíndice 2





Figura 2 Determinación de subíndices del ICARHS

6.3.4 Representación gráfica

Para la representación gráfica de los resultados del ICARHS se requiere considerar tres condiciones principales, las cuales son: la ubicación espacial, calificación de los subíndices 1 y 2, y el resultado del ICARHS.

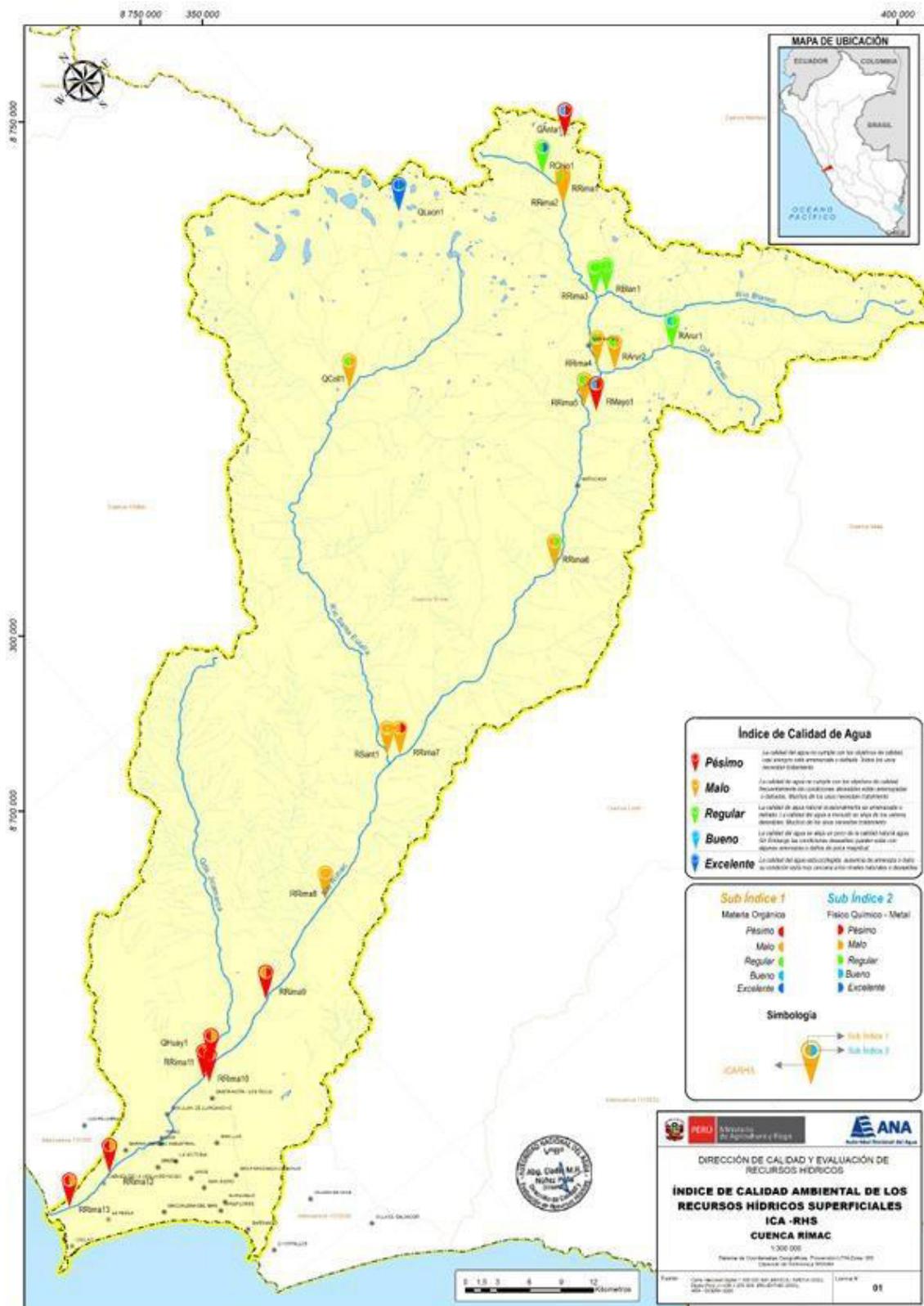
En ese sentido, en la **Figura 3** se propone la representación gráfica (símbolo / ícono) por punto de muestreo, que integra los resultados de cada subíndice, y cuyo resultado final del ICARHS será visualizado en un mapa temático utilizando la escala de colores establecida en el **Cuadro 2**.

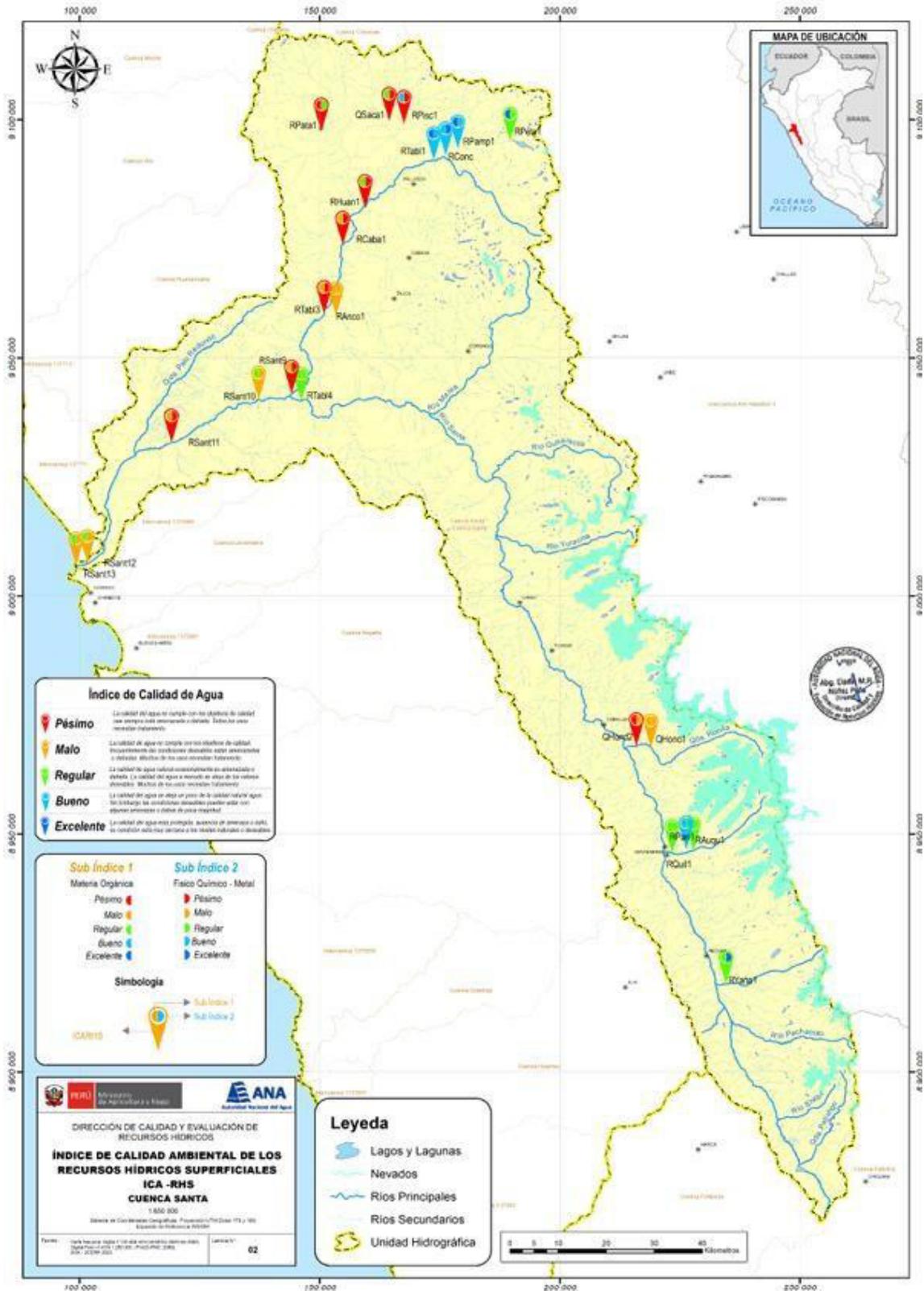


Figura 3 Ejemplo de ícono propuesto para la representación del ICARHS

A continuación, se muestra la representación gráfica de los resultados obtenidos de la aplicación de la Metodología ICARHS, en las unidades hidrográficas Rímac y Santa.







VII. BIBLIOGRAFÍA

- Amado et al., 2006; Sadiq y Tesfamariam, 2007; Sánchez et al., 2007; Królak et al., 2009; Lermontov et al., 2009; Beamonte et al., 2010; Gazzaz et al., 2012; Srebotnjak et al., 2012; Ma et al., 2013. (s.f.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN - 1010-2760, RNPS-0111, Vol. 23, No. 3. Obtenido de scielo: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n3/rcta02314.pdf>
- ANA. (13 de Febrero de 2018). *Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales*. Obtenido de repositorio.ana.gob.pe: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2439>
- ANA. (21 de Febrero de 2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales*. Obtenido de Repositorio de la Autoridad Nacional del Agua: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>
- ANA. (25 de Abril de 2018). *R.J. 136-2018-ANA Lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionados con los recursos hídricos*. Obtenido de Autoridad Nacional del Agua. Normatividad: <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/R.J.%20136-2018-ANA.pdf>
- CCME. (30 de Enero de 2001). *CANADA, CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT WINNIPEG*. Obtenido de Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0: <http://www.ccme.ca/sourcetotap/>
- Glossary of Environment Statistics. (1997). *Department for Economic and Social Information and Policy Analysis*. Obtenido de New York, United Nations: https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_67E.pdf
- Guilida GUZMÁN-COLIS, F. T.-L.-N.-B.-G. (2011). *Evaluación Espacio-Temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de aguascalientes, México*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/230688523_Evaluacion_espacio-temporal_de_la_calidad_del_agua_del_rio_San_Pedro_en_el_Estado_de_Aguascalientes_Mexico
- MINAM. (07 de Junio de 2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Samboni N. E., C. Y. (2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*. *Ingeniería e Investigación* 27, 172-181. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- UNESCO. (2009). *water en a changing world*. Obtenido de The United Nations world water development Report 3: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181993.page=29>

Equipo Técnico - ICARHS:

Ing. Flor de María Huamani Alfaro	Especialista de la DCERH
Quim. Daniel Medrano Mallqui	Especialista de la DCERH
Blg. Lizeth Anani Cárdenas Villena	Especialista de la DCERH
Ing. Lourdes Escobar Quispe	Especialista del PGIRH
Ing. Fredd Carlos Holguín Valdivia	Especialista del PGIRH
Blg. Jenny Rodríguez Horna	Especialista de la DCERH
Ing. Ana Cecilia Torres Turriate	Especialista de la DCERH

