

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la calidad del agua del río  
Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-  
PE en el departamento de Apurímac - 2022**

Shori Guerrero Baca  
Cleotilde Margot Ccallo Nina

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Oscar Paul Huarí Vila  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 9 de abril de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CHALLHUAHUACHO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE ICA-PE EN EL DEPARTAMENTO DE APURÍMAC - 2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Shori Guerrero Baca, Cleotilde Margot Ccallo Nina, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 20 ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Oscar Paul Huarí Vila  
Asesor de tesis

Cc.  
Facultad  
Oficina de Grados y Títulos  
Interesado(a)

**ASESOR**

**Mag. Oscar Paul Huari Vila**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por siempre guiarme por el buen camino y me da fortaleza para poder seguir y enfrentar los problemas que se presentan y ser más fuerte para afrontarlos.*

*A nuestros padres, que con el esfuerzo, dedicación, amor y soporte que nos brindan estamos culminando nuestra carrera profesional. Gracias a ellos seremos grandes profesionales por los buenos valores y principios que nos enseñaron.*

*A nuestros docentes, quienes fueron los que con dedicación y firmeza nos enseñaron todo lo aprendido para un buen futuro nuestro.*

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres, por el apoyo económico y emocional que nos brindaron durante el proceso de nuestros estudios y la confianza que nos tuvieron.

A nuestros docentes

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Asesor .....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	xiv
<b>Capítulo I .....</b>	<b>16</b>
<b>Planteamiento del Estudio .....</b>	<b>16</b>
1.1. Delimitación de la investigación .....	16
1.1.1. Delimitación territorial .....	16
1.1.2. Delimitación temporal .....	16
1.1.3. Delimitación conceptual .....	16
1.2. Planteamiento del problema.....	16
1.3. Formulación del problema .....	18
1.3.1. Problema general.....	18
1.3.2. Problemas específicos.....	18
1.4. Objetivo de la investigación.....	18
1.4.1. Objetivo general .....	18
1.4.2. Objetivos específicos .....	18
1.5. Justificación de la investigación.....	18
1.5.1. Justificación teórica .....	18
1.5.2. Justificación práctica .....	19
1.5.3. Justificación ambiental .....	19
1.5.4. Justificación social.....	20
1.5.5. Justificación económica .....	20
1.6. Hipótesis .....	21
1.6.1. Hipótesis general .....	21
1.6.2. Hipótesis general .....	21
1.7. Variables del estudio .....	22
1.8. Operacionalización de la variable .....	23
<b>Capítulo II.....</b>	<b>24</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>24</b>

2.1. Antecedentes de la investigación .....	24
2.1.1. Artículos científicos.....	24
2.1.2. Tesis internacionales, nacionales y locales .....	25
2.2. Bases teóricas .....	30
2.2.1. Calidad del agua .....	30
2.2.2. Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua .....	30
2.2.3. Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	38
2.2.4. Parámetros evaluados en el ICA-PE.....	39
2.2.5. Cálculo del ICA-PE.....	39
<b>Capítulo III .....</b>	<b>42</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>42</b>
3.1. Enfoque de la investigación .....	42
3.2. Tipo de investigación.....	42
3.3. Nivel de investigación .....	42
3.4. Métodos de investigación .....	43
3.5. Diseño de la investigación .....	43
3.6. Población y muestra .....	43
3.6.1. Población.....	43
3.6.2. Muestra .....	43
3.7. Metodología .....	44
3.7.1. Técnicas .....	44
3.7.2. Determinación de puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del agua .	44
3.8. Materiales.....	45
3.9. Procedimiento .....	46
3.9.1. Metodología para analizar las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho .....	46
3.9.2. Metodología para determinar el índice de calidad fisicoquímica del agua de la cuenca de Challhuahuacho.....	47
3.9.3. Metodología para determinar el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho departamento de Apurímac.....	49
3.9.4. Unidad de análisis.....	50
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>52</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>52</b>
4.1. Características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac .....	52
4.2. Calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho departamento de Apurímac. .	64

4.3. Índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho departamento de Apurímac .....	66
4.4. Discusión de resultados .....	68
<b>Conclusiones.....</b>	<b>71</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>72</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>73</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	23
Tabla 2. Metales pesados según ICA-PE .....	35
Tabla 3. Interpretación de la calificación ICA – PE .....	41
Tabla 4. Descripción de la muestra.....	43
Tabla 5. Métodos de ensayo utilizados para la toma de muestras. ....	47
Tabla 6. Análisis de características fisicoquímicas del agua según el ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2 .....	48
Tabla 7. Parámetros de evaluación para el cálculo de Excedentes, factores y valor final del ICA-PE, del ECA categoría 3, subcategoría D1 y subcategoría D2. ....	49
Tabla 8. Límites máximos permisibles para actividades minero-metalúrgicas utilizado en la evaluación de parámetros de las muestras 1 y 2 .....	50
Tabla 9. Parámetros de análisis de agua categoría 3, subcategoría D1 y D2.....	51
Tabla 10. Información de las coordenadas de las muestras.....	51
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Challhuahuacho – muestra 1.....	52
Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Challhuahuacho - muestra 02.....	53
Tabla 13. Parámetros microbiológicos de la cuenca del río Challhuahuacho – muestra 1.....	53
Tabla 14. Parámetros microbiológicos de la cuenca del río Challhuahuacho – muestra 2.....	54
Tabla 15. Análisis de las muestras 1 y 2 y comparado con los ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2 .....	54
Tabla 16. Cálculo de excedentes, factores y valor final del ICA-PE, del ECA categoría 3, subcategoría D1 primer y segundo monitoreo .....	64
Tabla 17. Cálculo de Excedentes, factores y valor final del ICA-PE, del ECA categoría 3, subcategoría D2 primer y segundo monitoreo. ....	65
Tabla 18. Resultados del análisis de límites máximos permisibles – muestra 1.....	66
Tabla 19. Resultados del análisis de límites máximos permisibles - muestra 02. ....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del distrito de Challhuahuacho .....	45
Figura 2. Mapa político de la ubicación del río .....	51
Figura 3. Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$ .....	55
Figura 4. Oxígeno disuelto $\text{mg}/\text{L}$ .....	56
Figura 5. Potencial de hidrógeno (pH) $\text{mg}/\text{L}$ .....	56
Figura 6. Demanda bioquímica de oxígeno $\text{mg}/\text{L}$ .....	57
Figura 7. Concentración de aluminio $\text{mg}/\text{L}$ .....	58
Figura 8. Concentración de arsénico $\text{mg}/\text{L}$ .....	58
Figura 9. Concentración de boro $\text{mg}/\text{L}$ .....	59
Figura 10. Concentración de cadmio $\text{mg}/\text{L}$ .....	59
Figura 11. Concentración de cobre $\text{mg}/\text{L}$ .....	60
Figura 12. Concentración de hierro $\text{mg}/\text{L}$ .....	61
Figura 13. Concentración de manganeso $\text{mg}/\text{L}$ .....	61
Figura 14. Concentración de plomo $\text{mg}/\text{L}$ .....	62
Figura 15. Concentración de zinc $\text{mg}/\text{L}$ .....	62
Figura 16. Concentración de mercurio $\text{mg}/\text{L}$ .....	63
Figura 17. Concentración de coliformes fecales NMP/ 100mL .....	63
Figura 18. Concentración de huevos y larvas de helmintos N.º/L .....	64
Figura 19. Valores obtenidos del ICA – PE .....	66

## RESUMEN

La investigación abordó el problema sobre la calidad del agua en el río Challhuahuacho del departamento de Apurímac en el año 2022. El objetivo estuvo centrado en evaluar la calidad del agua del río Challhuahuacho haciendo el uso de la metodología del ICA-PE en el departamento de Apurímac durante el periodo antes indicado. Se utilizó un enfoque cuantitativo, de tipo básico, de nivel descriptivo, para lo cual se realizaron dos muestras en dos ubicaciones distintas en el transcurso de la cuenca del río Challhuahuacho y se realizó el análisis de agua bajo la metodología ICA-PE categoría 3, subcategoría D1 y D2 que incorpora parámetros físicos, químicos y microbiológicos en cada una de las muestras.

Los resultados de la evaluación indican que para ambas muestras para las dos subcategorías denotan cumplimiento en todos los parámetros con excepción de cobre para las muestras M-01 = 0.2195 mg/L y M-02 = 0.2256 mg/L, que no se cumple para la subcategoría D1 y coliformes fecales con concentraciones muy altas de M-01 = 7,900 NMP/100 mL y M-02 = 11,000 NMP/100 mL, que no cumple para la subcategoría D1 y D2.

Llegando a concluir que se determina que la calidad para ambas muestras es favorable, para la categoría 3, subcategoría D1 y de la misma forma para ambas muestras es regular, para la categoría 3, subcategoría D2.

**Palabras claves:** calidad fisicoquímica, elementos ecotóxicos, estándares de calidad ambiental de agua, índice de calidad ambiental de agua ICA-PE

## ABSTRACT

The research addressed the problem of water quality in the Challhuahuacho river in the department of Apurímac in the year 2022. The objective was focused on evaluating the quality of the water in the Challhuahuacho river using the ICA-PE methodology in the department. Apurimac during the period. A quantitative, basic, descriptive level approach was used, for which two samples were taken in two distinct locations along the Challhuahuacho river basin and the water analysis was conducted under the ICA-PE category 3 methodology, subcategory D1 and D2 which incorporates physical, chemical, and microbiological parameters in each of the samples.

The results of the evaluation indicate that for both samples for the two sub categories they denote compliance in all the parameters with the exception of copper for the samples M-01=0.2195 mg/L, and M-02=0.2256 mg/L, which are not meets for subcategory D1 and fecal coliforms with very high concentrations of M-01=7,900 NMP/100 mL, and M-02=11,000 NMP/100mL, which does not meet for subcategory D1 and D2.

Concluding that it is determined that the quality for both samples is favorable, for category 3, subcategory D1 and in the same way for both samples it is regular, for category 3, subcategory D2.

**Keywords:** eco-toxic elements, environmental water quality index ICA-PE, physicochemical quality, quality standards environment of water

## INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, vital para la vida y profusamente presente en la naturaleza, adquiere una relevancia insustituible. Su calidad representa un elemento crucial que impacta de manera directa en la preservación de los ecosistemas y el bienestar de la población, su evaluación está determinada por su uso final específico. En las últimas décadas, en Perú, el aumento demográfico y las diversas actividades desarrolladas en sectores como la agricultura, la pesca y el saneamiento, han surgido como factores fundamentales que contribuyen al detrimento de la calidad del agua a nivel nacional, y este panorama se ve agravado por el cambio climático. Además de los factores antropogénicos mencionados, los cambios en los atributos físicos y químicos (parámetros inorgánicos) que caracterizan la calidad del agua están influenciados por una amalgama de procesos naturales, incluyendo las condiciones geológicas y la erosión natural.

La evaluación de la calidad del agua es un proceso fundamental para garantizar la salud y bienestar de las comunidades que dependen de fuentes hídricas para sus necesidades diarias. En particular, el monitoreo y análisis de la calidad del agua en el río Challhuahuacho se ha convertido en un tema relevante debido a su importancia para el riego de vegetales y la bebida de animales.

En este contexto, la metodología ICA-PE (Índice de Calidad de Agua para el Perú) se ha utilizado como un enfoque confiable y estandarizado para evaluar la calidad del agua en diferentes categorías y subcategorías; la metodología ICA-PE ha demostrado ser una herramienta efectiva y confiable para evaluar la calidad del agua en diferentes entornos. Su aplicación proporciona información valiosa para comprender y abordar los desafíos relacionados con la calidad del agua, contribuyendo así a la protección de la salud y el bienestar de las comunidades.

La tesis se llevó a cabo a través del análisis de resultados de laboratorio de las muestras de agua, tomadas del río Challhuahuacho bajo una metodología de dos fases: la primera, de precampo donde se prepararon los protocolos de muestreo y la de campo donde se realizó la extracción de las muestras bajo los más rigurosos parámetros de bioseguridad, posteriormente, se realizó el transporte de muestras bajo las recomendaciones del laboratorio, los resultados obtenidos por el Laboratorio Analítico del Sur cuentan con la calidad de las muestras y la confiabilidad de los resultados.

El tema del proyecto es la evaluación de la calidad del agua en el río Challhuahuacho bajo la metodología de ICA-PE para el agua de categoría 3, subcategoría D1 y D2 (agua utilizada en el riego de vegetales y bebida de animales, respectivamente).

El presente trabajo de investigación está estructurado en cinco capítulos:

Capítulo I: Planteamiento del estudio, donde se identifica el problema y su planteamiento, los objetivos, la justificación del problema, las hipótesis y variables.

Capítulo II: Marco teórico, donde se observan los antecedentes y las bases en las que el proyecto se sostiene.

Capítulo III: Metodología, donde se identifica el enfoque, tipo, nivel, métodos de investigación y técnicas e instrumentos de recolección de datos, además, la determinación de la muestra y las fases de la metodología para la recolección de las muestras.

Capítulo IV: Resultados, donde se dio a conocer la descripción del trabajo de campo y además se hace uso de la metodología de ICA-PE para el agua de categoría 3, subcategoría D1 y D2, y elaborar las tablas y figuras de los resultados de las muestras. Al final del trabajo de investigación se emiten conclusiones y recomendaciones con base en toda la información obtenida y el resultado de los datos recolectados.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue evaluar la calidad del agua en el río Challhuahuacho haciendo el uso de la metodología del ICA-PE en el departamento de Apurímac en el año 2022.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Delimitación de la investigación**

##### **1.1.1. Delimitación territorial**

La presente investigación, se desarrolló en el río Challhuahuacho del departamento de Apurímac.

##### **1.1.2. Delimitación temporal**

La investigación, se basó en la evaluación de la calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE, realizada a través de dos muestras tomadas en el año 2022.

##### **1.1.3. Delimitación conceptual**

La presente investigación se encuentra enmarcada en la teoría de la metodología de ICA-PE y tomó en cuenta también los términos que engloban características fisicoquímicas del agua, los estándares de calidad ambiental del agua, el índice de calidad fisicoquímica del agua y el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua.

#### **1.2. Planteamiento del problema**

El agua es uno de los recursos más importantes e indispensables para la vida en el planeta. En el Perú, la calidad del agua es deficiente por diferentes factores como los escasos tratamientos de agua que se dan en las regiones y la actividad minera.

En la actualidad, en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac, la contaminación de los ríos, manantiales, riachuelos y el agua

subterránea se ve comprometida por el vertimiento de relaves mineros, aguas domésticas, residuos sólidos, fertilizantes y otras fuentes de contaminación. Por otro lado, la influencia de las acciones vinculadas a la intervención de la mano del hombre, como se mencionó con anterioridad, y los procesos que ocurren de manera natural en el entorno pueden influir en los parámetros inorgánicos de la calidad del agua [1].

La calidad del agua se ve muy afectada desde los años noventa y se estima un deterioro en la calidad del agua en las próximas décadas. Implicando un riesgo en la salud del hombre y el medio ambiente y al desarrollo sostenible [2].

Los recursos naturales van en disminución por el aumento de la población y las necesidades que conlleva a una consecuencia directa de la cantidad y calidad del agua que es para el consumo del hombre [3].

La falta de normas y leyes que regulen el manejo adecuado de los residuos sólidos y el cierre de minas han ocasionado que existan depósitos con pasivos ambientales mineros y que estos pueden ocasionar efectos nocivos que hacen que el suelo sea incultivable. Los desechos minerales afectan a la calidad del agua superficial y subterráneas que va degradando la flora y fauna existente también afecta a la salud del hombre por el consumo de estas aguas [4].

Los niveles de calidad y la cantidad suficiente de agua dependen principalmente del organismo vivo que lo demanda, así mismo, la existencia de pequeños grupos de especies acuáticas que requieren niveles de calidad diferenciados y que muestran su tolerancia [3].

En Perú, el departamento de Puno es el más afectado con relaves mineros, ya que se desarrolla la actividad minera artesanal que contamina los acuíferos con aguas residuales, sin ningún tratamiento, de la misma forma, se vierten residuos producto de las actividades humanas que ocurren en los poblados; siendo la provincia de Carabaya un claro ejemplo de esta contaminación [5].

El ICA es una herramienta matemática que integra información de parámetros, permitiendo dar datos en una escala única de la calidad del agua. En Perú, se utiliza esta metodología que permite realizar una valoración simple de la calidad del agua y entender de mejor forma su gestión [6].

El presente trabajo de investigación evaluó la calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE, realizando las características fisicoquímicas, los

estándares de calidad ambiental, el índice de calidad fisicoquímica y el índice de riesgo para los elementos eco tóxicos del agua en el departamento de Apurímac durante el año 2022.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

- ¿Cuál es la calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac?
- ¿Cuál es el índice de calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac?
- ¿Cuál es el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac?

### **1.4. Objetivo de la investigación**

#### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar la calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.
- Determinar el índice de calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.
- Determinar el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.

### **1.5. Justificación de la investigación**

#### **1.5.1. Justificación teórica**

Nuestro trabajo de investigación se centró en la afirmación de conocimientos preestablecidos sobre la evaluación de la calidad del agua en el río Challhuahuacho

mediante una metodología de gran uso a nivel nacional y que es el ICA-PE en el departamento de Apurímac. Logrando la afirmación de conocimientos ya existentes y complementación con información actualizada que proviene de la investigación.

Es importante destacar que la evaluación de la calidad del agua es un tema crucial para garantizar la salud humana y el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Existen conocimientos previos sobre la aplicación del ICA-PE en diferentes regiones de Perú, lo que respalda su validez y eficacia como una herramienta para evaluar la calidad del agua en diferentes contextos.

### **1.5.2. Justificación práctica**

La justificación práctica de esta investigación es de vital importancia, ya que busca obtener resultados concretos sobre la evaluación de la calidad del agua en el río Challhuahuacho, utilizando la metodología ICA-PE de manera demostrativa. Este enfoque práctico permitirá generar conocimiento aplicado y utilizable en el campo de la gestión y conservación del agua.

Al poner en práctica la metodología ICA-PE, se puede obtener datos específicos sobre la calidad del agua en el río Challhuahuacho, identificando los niveles de contaminación y los riesgos asociados. Estos resultados serán de gran relevancia para las autoridades locales, los responsables de la gestión del agua y la comunidad en general, ya que permitirán tomar decisiones informadas e implementar medidas correctivas.

Además, la investigación también tiene como objetivo diseñar un plan de recuperación de la calidad del agua en el río Challhuahuacho. Una vez que se hayan identificado los problemas y se hayan evaluado los riesgos, se puede proponer recomendaciones y acciones concretas para mejorar la calidad del agua y proteger el ecosistema fluvial.

### **1.5.3. Justificación ambiental**

La industria minera es una de las principales fuentes de contaminación de cuerpos de agua y suelos, lo que causa un impacto negativo en la flora y fauna de los ecosistemas afectados, tanto directa como indirectamente. Es prioritario proteger la salud y calidad del agua, asegurando que se mantenga dentro de los límites máximos permisibles establecidos por las leyes ambientales y en línea con los principios de sostenibilidad ambiental, con el objetivo de prevenir la contaminación del agua.

A lo largo del tiempo, las fuentes de agua han sufrido una gradual contaminación, que ha sido responsable de numerosas epidemias que han afectado a las ciudades. El constante desarrollo tecnológico y económico ha llevado a la generación de aguas residuales industriales que contaminan los recursos hídricos y deterioran los ecosistemas. En la actualidad, la disponibilidad de agua de buena calidad se ha convertido en una necesidad fundamental para cualquier población. Por tanto, es importante evaluar los índices de calidad y los riesgos para la salud de las aguas superficiales del río Challhuahuacho, ubicado en la provincia de Apurímac, debido a los potenciales riesgos para la salud pública que representan.

Este trabajo de investigación tiene implicancia ambiental porque se centra en la necesidad de evaluar la calidad del agua en el río Challhuahuacho para promover la conservación del medio ambiente, identificar posibles problemas ambientales y fomentar prácticas de gestión sostenible del agua. Al realizar esta evaluación, se busca preservar los ecosistemas acuáticos, proteger la biodiversidad y promover la participación de la comunidad en la protección del recurso hídrico.

#### **1.5.4. Justificación social**

Este trabajo de investigación tiene implicancia social porque realizó una evaluación exhaustiva de la calidad del agua en el río Challhuahuacho, utilizando la metodología de ICA-PE, para comprender y documentar el impacto de la actividad minera en el recurso hídrico y evaluar los riesgos asociados para la salud de la población local. Esta investigación buscó brindar información actualizada y respaldar la toma de decisiones informadas en términos de protección ambiental y bienestar social en el distrito de Challhuahuacho.

Estos impactos ambientales no solo afectan a los recursos naturales, sino que también tienen repercusiones en la población local. La exposición a sustancias tóxicas presentes en el agua y el aire puede generar riesgos para la salud de las personas que viven en las cercanías de las operaciones mineras. Esto puede incluir problemas respiratorios, enfermedades relacionadas con la contaminación del agua y otros efectos adversos para la salud.

#### **1.5.5. Justificación económica**

La calidad del agua en el río Challhuahuacho es de gran importancia económica para el departamento de Apurímac, ya que sustenta actividades como la ganadería, la agricultura y la minería. Es fundamental conocer los índices de calidad y los riesgos

para la salud asociados con el fin de asegurar un manejo adecuado y cuidado de este recurso vital en el área.

Este trabajo de investigación tiene implicancia económica porque da una respuesta a la preocupación por el estado actual del río Challhuahuacho, que se ve afectado por la actividad y los pasivos mineros. Este problema no ha sido abordado de manera satisfactoria por parte de las autoridades del Gobierno Regional y las instituciones involucradas. Es prioritario mantener una buena calidad del agua, ya que esta fuente es utilizada principalmente para actividades agrícolas y ganaderas.

Las deficiencias en la infraestructura, la falta de aplicación de un plan de cierre de minas y la falta de control y responsabilidad por parte del Estado en hacer cumplir las leyes son algunas de las causas que han llevado a esta preocupante y progresiva contaminación del agua. Como resultado, la población es la más afectada, ya que depende de este recurso para sus actividades diarias, como el riego de cultivos, la cría de animales y el consumo humano. Además, los peces y truchas, que son una fuente de alimentación importante, también se ven perjudicados.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general**

- La evaluación de la calidad del agua, mediante la metodología de ICA-PE, permitió determinar las características fisicoquímicas, el índice de calidad fisicoquímica y el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.

### **1.6.2. Hipótesis general**

- La evaluación de las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac, no sobrepasan los ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.
- El índice de calidad fisicoquímica del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac, es excelente para los ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

- El índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho, departamento de Apurímac, es aceptado para los ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

**1.7. Variables del estudio**

- Variable: Calidad del agua mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac, para los ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

## 1.8. Operacionalización de la variable

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores
Calidad del agua mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac, para los ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2	<p>El ICA representa el nivel de contaminación del agua en el momento del muestreo y se expresa como un porcentaje con relación al agua pura. Este índice es una forma simplificada de agrupar ciertos parámetros que son indicativos de un deterioro en la calidad del agua, y su propósito principal es comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que este índice sea práctico, es necesario reducir la gran cantidad de parámetros involucrados a una forma más manejable, aunque este proceso de simplificación conlleva la pérdida de cierta información [49].</p> <p>Debido a esto, la calidad del agua se considera un concepto que varía según el propósito específico para que se emplee. Para los usos más significativos y frecuentes del agua, se han establecido una serie de estándares que se encuentran definidos en normativas particulares. Estos estándares históricamente se basan en los niveles de diferentes parámetros fisicoquímicos [1].</p>	Características fisicoquímicas del agua	<p><b>Parámetros físicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conductividad</li> <li>- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- pH</li> <li>- Temperatura</li> </ul> <p><b>Parámetros químicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluminio (Al)</li> <li>- Arsénico (As)</li> <li>- Boro (B)</li> <li>- Cadmio (Cd)</li> <li>- Cobre (Cu)</li> <li>- Hierro (Fe)</li> <li>- Manganeso (Mn)</li> <li>- Plomo (Pb)</li> <li>- Zinc (Zn)</li> <li>- Mercurio (Hg)</li> </ul> <p><b>Parámetros microbiológicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Huevos y larvas de helmintos</li> </ul>
		Calidad fisicoquímica del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente</li> <li>- Buena</li> <li>- Favorable</li> <li>- Regular</li> <li>- Mala</li> </ul>
		Elementos eco-tóxicos del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda bioquímica de oxígeno</li> <li>- Mercurio</li> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Huevos y larvas de helmintos</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Artículos científicos**

El objetivo de este artículo estuvo relacionado al desarrollo de una investigación con el fin de evaluar el ICA en el río Guarapiche, estado de Monagas, Venezuela; para lograr esta evaluación se hizo uso del método del índice aritmético ponderado, logrando evaluar la temperatura, el pH, la dureza, conductividad eléctrica, nitrato, nitritos, sulfato, cloruros, oxígeno disuelto, hierro, manganeso, níquel, potasio y coliformes fecales; haciendo un total de 14 parámetros relacionados a la calidad del agua, el parámetro de evaluación se basó en la importancia de la vida acuática con un peso relativo asignado de 1 a 4, con lo que se obtuvieron valores ICA de 44,38 que fue el valor menor obtenido en la estación de muestreo de San Félix y valores ICA de 363,69 que fue el valor más alto obtenido en la estación de muestreo de Palmonagas. Concluyendo que el impacto de las actividades humanas influye en los parámetros de medición de manganeso, nitrato, nitritos y coliformes fecales [7].

Este artículo demuestra el uso del índice de calidad de agua en la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América (ICA-NSF) en las aguas del Lago de Izabal de Guatemala, que afronta problemáticas relacionadas a la contaminación generada por acción humana, esta investigación concluyó que la calidad de agua de la laguna está categorizada como buena [8].

En un artículo que se realizó en Ecuador, donde el método utilizado fue el ICA, concluyó que la categorización de la calidad de agua es media, en la fuente de captación

muestra un índice con un valor de 66.53, mientras que el arrojado al hacer la muestra en el tanque de almacenamiento el índice muestra un valor de 63,21 teniendo una categorización de media en su calidad de agua la que requeriría de un tratamiento adecuado para su uso doméstico [9].

Por otro lado, Cahoy y López [10], mencionan que el ICA integra parámetros fisicoquímicos en una ecuación para determinar la calidad del agua en un lugar y tiempo fijo para el análisis espacio-temporal del agua. Índice de calidad del agua del sector Guaymaral. Según Chávez [11], señala que los municipios de Poza Rica, Tihuatlán, Coatzintla y Cazonas utilizan el agua del río como agua potable para sustentar a más de 300 000 personas, por lo que conocer el estado de este recurso hídrico es sumamente importante.

En Perú, existen leyes y normas básicas que regulan el agua y su vertido en cuencas o subcuencas. La cuenca es la zona del territorio por donde pasan todos los cuerpos de agua (precipitaciones, deshielos, acuíferos, etc.), que fluyen naturalmente a través de arroyos o ríos superficiales a un solo sitio o punto de descarga según Aguirre [12]. Según Guerrero [13] en el Perú se establece la protección de la calidad de los recursos hídricos, por lo que deben implementar los mecanismos necesarios para proteger las cuencas de los ríos y los acuíferos.

Por otro lado, se realizó un estudio para determinar la calidad del agua en la microcuenca del río Challhuahuacho, perteneciente a la región Apurímac, en comparación con los estándares de calidad ambiental para riego y bebederos [14]. Se reitera que las aguas del río Challhuahuacho, que discurre por el distrito, no son aptas para el riego ni como agua de bebida para los animales, ya que alimenta a las localidades aguas abajo y su aprovechamiento requiere un tratamiento previo.

Asimismo, en Cajamarca se realizó un estudio, evaluando la calidad del agua del río Mashcón y según Palomino [15] se concluye que la calidad del agua en el río Mashcón es deficiente en las estaciones cercanas al casco urbano.

### **2.1.2. Tesis internacionales, nacionales y locales**

#### **Internacionales**

Martínez y Barreto [16], en el trabajo «Evaluación de las condiciones de calidad del agua para formular una estrategia de uso y protección de la microcuenca de la quebrada la Argentina, Villavicencio – meta»; que tuvo como objetivo general la

evaluación de las condiciones de calidad del agua y la elaboración de una estrategia de uso y conservación de la microcuenca. Es de tipo investigativo analítico y explicativo. Finalmente, se concluyó con que la mayor proporción de uso de la tierra es un mosaico de pastizales con áreas naturales con un total de 844,98 ha, seguido de bosque denso con 817,99 ha. Estos espacios naturales forman áreas ocupadas por restos de bosques naturales y densos en la cuenca alta; principalmente, matorrales y bosques de galería en la cuenca media; y las praderas y prados característicos de la zona de la microcuenca inferior. Con base en estos porcentajes se determina un bajo nivel de interferencia antrópica, lo que se refleja en la calidad del agua del cuerpo de agua. La microcuenca cuenta con un gran número de áreas de no intervención de 2100,77 ha. Esto permite consolidar el desarrollo de senderos ecológicos y miradores con fines turísticos y educativos.

Arévalo y Castillo [17], en su trabajo «Propuesta de indicadores de calidad de agua para ecosistemas acuáticos en Chile», cuyo objetivo fue proponer indicadores de calidad de agua superficial para diferentes tipos de ecosistemas acuáticos. Al ser un estudio descriptivo, dio como resultado que se creó la propuesta del indicador teniendo en cuenta las limitaciones actuales, pero con el objetivo de evaluar la calidad del agua de cauces de ríos en el país, teniendo en cuenta las propiedades hidroquímicas naturales presentes en los reservorios de agua. Para ello, se tomaron en cuenta estándares y criterios de calidad nacionales e internacionales y se logró estandarizar los parámetros seleccionados de acuerdo con los métodos adaptados a las realidades nacionales. Por ello, se ha propuesto un índice de calidad que evalúe globalmente los recursos hídricos superficiales de Chile (ICA Global), teniendo en cuenta tanto su calidad natural (ICA natural) como su uso potencial como fuente de agua potable (ICA agua potable) y riego (ICA riego).

Caho y López [10], en su trabajo «Índice de Calidad del Agua (ICA)», se incluyen en la ecuación parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua en un lugar y momento específicos. Teniendo como objetivo el análisis espacio-temporal del índice de calidad del agua en el sector Guaymaral, utilizando dos métodos de cálculo el UWQI y el CWQI. Los materiales y métodos utilizados para la comparación espacio-temporal entre agosto de 2015 y abril de 2016, seleccionando cuatro puntos de muestreo y monitoreando los parámetros fisicoquímicos en cuatro puntos de tiempo diferentes. Los resultados mostraron que la mayoría de los puntos muestreados, se obtuvo una valoración de regular para el ICA-UWQI, y se obtuvo una valoración de pobre para el ICA-CWQI. Llegaron a la conclusión de que, de los dos

métodos, el UWQI es ideal para la evaluación rápida de un uso específico del agua, ya que permite la toma de decisiones inmediata y el CWQI es ideal para estudios de evaluación espacio-temporal.

### **Nacionales**

Jiménez y Llico [18], en su trabajo «Evaluación de la calidad del agua del río Muyoc, con la aplicación del índice de calidad ambiental del agua, Cajamarca 2019», que tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Muyoc utilizando el índice de calidad ambiental del agua, es decir, investigación explicativa con que se llegó a una conclusión final sobre la cuestión, comparando los resultados de dos monitoreos, solo el primero superó dos parámetros fisicoquímicos establecidos por la ETO – agua, con resultados para cloruros en sus 3 muestreos de  $M1 = 9217,78$ ;  $M2 = 7090,6$  y  $M3 = 7799,6$  y de los resultados para el pH en sus 3 muestreos de  $M1 = 4,5$ ;  $M2 = 4,03$ ;  $M3 = 4,3$ ; llegando a concluir que para el primer punto de muestreo se logra una buena calidad del agua en el río Muyoc utilizando los cálculos del índice de calidad ambiental del agua (ICA-PE); mientras que en el segundo análisis ningún parámetro supera a ECA - agua.

Hilario y Mamani [19], en su trabajo «Variación del índice de calidad del agua ICA-PE del río Escalera en el distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica, 2015-2018», tuvieron como objetivo general evaluar la variabilidad del índice de calidad del agua mediante la metodología ICA-PE. Como parte del estudio fue de un tipo de investigación experimental, donde se llegó a la conclusión final de que existe una variación que tiende a disminuir de calidad buena a una calidad regular, según la metodología ICA-PE, esta variabilidad tiende a disminuir de calidad buena a consistentemente buena calidad en 2015-2018, particularmente, durante el deterioro de la calidad del agua en los últimos 3 años, posiblemente debido a los pasivos y la actividad mineros.

Cisneros [20], en su trabajo «Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en Comas (Lima), Quispicanchi (Cusco) y Coronel Portillo (Ucayali) en el año 2017», que tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua para consumo humano en estos tres lugares, se realizó un estudio de tipo experimental y cuyos resultados mostraron las calidades del agua destinada al consumo humano en las tres regiones naturales de Perú, al evaluar los parámetros establecidos en el decreto supremo 031-2010-SA ordenanza sobre la calidad del agua para consumo humano; para velar por la mejora de la salud pública.

## Locales

Choque [21], en su trabajo «Formulación de un ICA para un río altoandino utilizando el método DELPHI: en el río de la microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú, 2019», el objetivo del estudio fue la formulación de un índice de calidad del agua bajo el método DELPHI. El estudio se realizó en el río de la microcuenca Chumbao, que tiene una longitud de 40,5 km y abarca 143 km<sup>2</sup> de cuenca desde los 4081 hasta los 2500 metros sobre el nivel del mar, considerando dos puntos lénticos y ocho puntos lóticos. Con la participación de siete expertos en el tema de los recursos hídricos de los Andes evaluaron cuarenta y tres parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de la calidad del agua. Las muestras de agua se analizaron utilizando la metodología APHA; La fórmula ICA Altoandino se calculó como una ecuación ponderada con un rango de calidad basado en la escala NSF - 2006. Mediante la metodología DELPHI se seleccionaron 20 parámetros fisicoquímicos: temperatura, turbidez, STD, pH, conductividad, dureza, color, nitratos, nitritos, amonio y fosfatos; metales como el plomo, cromo, zinc y hierro; materia orgánica con la demanda química de oxígeno, demanda de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes y coliformes totales; por lo tanto, los valores de los parámetros clasificados varían a lo largo del río, sus niveles cambian significativamente a medida que el río fluye a través de áreas urbanas, agrícolas y de pastoreo. En el diseño del índice de calidad del agua altoandino se consideraron tres subindicadores de calidad, el primero mide la calidad fisicoquímica con un peso de 0.3, la segunda considera la calidad de los metales con un peso de 0.3 y el último evalúa la calidad de la materia orgánica con un peso de 0.4; por su importancia e impacto en el río Chumbao la calidad del agua del río en época seca varía de excelente a media y varía de excelente a mala en época de precipitación.

Zevallos [22], en su trabajo «Calidad del agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Challhuahuacho», tuvo como objetivo analizar el agua del río para determinar las concentraciones de metales pesados en los músculos de la trucha arco iris y su relación con el nivel de estrés. Para ello, se consideraron cuatro puntos de medición, muestras de agua para el análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total, azufre, amoníaco, nitratos, cromo IV; metales pesados como amonio, arsénico, bario, cadmio, mercurio, cobre, níquel, plomo, selenio, talio y zinc; así como, todas las bacterias coliformes. Se tomaron músculos de truchas arcoíris en cuatro sitios para determinación de metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio y plomo; y

finalmente, se determinó la concentración de cortisol plasmático de muestras de sangre. Los análisis de agua realizados en el laboratorio de SGS en Lima demostraron que los parámetros fisicoquímicos, las concentraciones de bacterias coliformes termotolerantes y las concentraciones de metales pesados en el agua del río Challhuahuacho no amenazan el equilibrio del ecosistema acuático. En total, se capturaron treinta y siete ejemplares de trucha arcoíris, las concentraciones de metales pesados en el músculo de la trucha fueron inferiores a los valores máximos permitidos, por lo que este indicador no se consideró peligroso para la salud humana. Una prueba ELISA de cortisol plasmático analizada en el laboratorio de la Universidad Peruana Cayetano Heredia mostró bajos niveles de estrés en trucha arcoíris.

Aguilar y Navarro [23], en su trabajo «Evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano en el municipio de Llañucancha, distrito y provincia de Abancay, 2017». Los objetivos fueron determinar parámetros físicos como conductividad, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales; determinar parámetros químicos como pH, dureza total, cloruros, sulfatos y alcalinidad; determinación de parámetros bacteriológicos tales como bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales; se analizaron muestras de agua de la cuenca del río Siracachayoc, sus métodos de acuerdo con la norma técnica N.º 031. Digesa del año 2012, reglamento de calidad de agua para consumo humano del Minam del año 2012, la evaluación se realizó en DESA Laboratorio de Control de Calidad de Agua de la Dirección Regional de Salud de Apurímac, los datos procesados fueron utilizados en el paquete estadístico del Sistema de Procesamiento de Salud. Los resultados obtenidos en el laboratorio muestran que los parámetros físicos de pH es de  $7.78 \pm 4.0$ , la temperatura mostró valores de  $17.43 \pm 8.2$ , la conductividad eléctrica es de  $138.12 \pm 4.1$ , la alcalinidad es de  $73.68 \pm 10.3$ ; mientras que para los parámetros químicos se obtuvieron resultados para una dureza total de  $74.28 \pm 13.3$ , para calcio de  $23.35 \pm 7.9$ , para magnesio de  $4.74 \pm 9.8$ , para cloruro de  $74 \pm 15.6$ ; en cuanto a los resultados bacteriológicos en unidades formadoras de colonias en *E. coli* total, se recogieron valores de  $18.67 \pm 28.05$ , en el reservorio el valor obtenido fue de  $18.08 \pm 13.51$ , en los caños domésticos fue de  $29.08 \pm 24.6$ , para *coli* del grupo termotolerantes en la captación dio un valor de  $6.67 \pm 16.83$ , en el tanque de reservorio el valor fue de  $1.75 \pm 2.60$  y en los caños domésticos fue de  $6.25 \pm 16.94$  según la norma técnica 031-Digesa en los parámetros fisicoquímicos, estos están dentro de los valores normales para aguas destinadas al consumo humano, mientras que para *E. coli* total y bacterias termotolerantes el valor correcto debe ser  $< 1$  UFC/ml, superando ampliamente los resultados superan la límites máximos

permisibles en todos los lugares muestreados del sistema que suministra agua destinada al consumo humano, no siendo apta para el consumo humano.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Calidad del agua**

Según Atencio [24], el agua tiene características variables según la morfología y el proceso de recorrido de donde provengan, haciéndolas diferente, estas características se pueden medir y clasificar de acuerdo con factores físicos, químicos y biológicos, las características del agua son las que determinan la calidad, las que hacen que esta sea apropiada para un uso determinado del agua.

Según Mena [25], el ICA es un indicador que determina el estado del agua en los cuerpos naturales mediante la integración de mediciones mediante distintos parámetros de la calidad del agua. La calidad del agua está determinada por la naturaleza geológica e hidrológica de la cuenca por donde transcurre el agua. El agua cumple con un círculo cerrado, que es denominado ciclo del agua, donde se tiene que desarrollar estrategias de monitoreo y análisis de laboratorio.

Según Tevés [26], el agua es uno de los recursos naturales más importantes para la vida y para las actividades industriales, mineras, económicas, agrícolas, etc. o todas aquellas en las que interviene la mano del hombre. Por otro lado, el agua ocupa el 70 % de la superficie terrestre, el 0.3 % del agua es agua dulce disponible para el consumo humano, la mayor precipitación se da en las zonas altas por que la capacidad de los ríos aumenta, el mal uso y falta de gestión del agua ocasiona limitaciones y un mal desarrollo sostenible.

Según Atencio [24], los productos químicos en su mayoría son peligrosos para la salud de los humanos, cuando estos químicos tienen una presencia prolongada el efecto peligroso es a largo plazo, mientras que otros químicos tienen un efecto peligroso en un tiempo corto. Los químicos se encuentran en el agua de acuerdo con las actividades que se desarrollan en el lugar.

### **2.2.2. Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua**

#### **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Según Mena [25], la DBO mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, es decir, solo se mide la materia orgánica biodegradable y no se miden

contaminantes específicos. Los métodos analíticos simulan las condiciones de degradación natural para comprender la velocidad y el tiempo necesarios para la degradación.

Se define como la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos para la oxidación biológica de la materia orgánica cuando las muestras se incuban durante 5 días a 20 °C en la oscuridad. Es un parámetro indispensable a la hora de determinar el estado o calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o aguas residuales [29]. La DBO<sub>5</sub> es un buen indicador de la calidad general del agua y, más concretamente, de la presencia de contaminantes orgánicos. Valores inferiores a 3 mg/l indican buena calidad, mientras que valores superiores a 10 mg/l indican una grave contaminación orgánica. La DBO es un parámetro fisicoquímico que mide la cantidad de oxígeno que se encuentra para los microorganismos en condiciones aeróbicas, esta solo mide la materia orgánica biodegradable mas no la contaminación. Es un parámetro que representa la materia orgánica biodegradable consumido por microorganismos, es la más usada cuando se necesita determinar la eficiencia o calidad del agua de las lagunas, lagos, ríos o efluentes, además de ser un buen indicador de la calidad del agua de la materia oxidable con presencia de contaminantes orgánicos.

### **Oxígeno disuelto (OD)**

Es uno de los parámetros más importantes para la evaluación de la calidad del agua la que viene relacionada a su contaminación orgánica, su concentración aumenta con la disminución de la temperatura y la salinidad del agua y la mineralización ocurre en condiciones aeróbicas, donde consume oxígeno y produce dióxido de carbono, nitratos y fosfatos [27]. El oxígeno disuelto indica la mejor calidad del agua, que está asociada a la contaminación orgánica, la calidad del oxígeno disuelto depende de la temperatura y la salinidad del agua.

El OD es un parámetro de análisis de sustancias químicas importante en el agua porque los peces y la mayoría de los otros organismos acuáticos lo usan para respirar. En general, la falta de oxígeno disuelto en el agua aumenta su sabor y olor. La fuente de oxígeno en el agua proviene de la disolución de esta sustancia química que está presente en la atmósfera, el aire seco contiene 20,95 % de oxígeno en volumen, el porcentaje de saturación de O<sub>2</sub> en el agua a una temperatura determinada depende de la turbulencia, la interfase aire-agua y finalmente su salinidad. La fotosíntesis de las algas también produce oxígeno, pero este proceso no es una forma muy eficiente de oxigenar el agua, ya que parte del oxígeno producido por la fotosíntesis durante el día se pierde

por la noche cuando las algas consumen oxígeno a través de su proceso metabólico, a medida que mueren las algas, la descomposición de su biomasa por los organismos desintegradores también utiliza oxígeno, una de las causas principales de la desoxigenación del agua es la oxidación biológica y la respiración biológica. El primer aspecto es el más importante, y está relacionado con la presencia de residuos aeróbicos en el agua, que la consumen en el proceso de oxidación biológica y la descomponen en diversas sustancias, los compuestos oxidables pueden ser sustancias inorgánicas como el nitrito [27]. El OD proviene de la atmósfera y se disuelve en las aguas superficiales, es importante ya que los peces y otros organismos lo utilizan para respiración, por otro lado, la carencia del oxígeno disuelto produce un incremento de sabor y olor. El oxígeno también se produce por la fotosíntesis de las plantas acuáticas, este proceso no es un medio eficaz para la oxigenación del agua ya que el oxígeno formado se pierde durante la noche, las causas para una desoxigenación del agua son la oxidación biológica y respiración de los seres vivos acuáticos.

Según Mena [25], el oxígeno disuelto en el agua puede provenir de la aireación (atmósfera) y la fotosíntesis (algas). A su vez, es consumido por la respiración de los organismos, la demanda de sustancias orgánicas y la oxidación de sustancias inorgánicas, su solubilidad depende de la presión parcial de oxígeno, la salinidad y la temperatura atmosférica. El último factor es el que más afecta a su concentración medida durante un día o durante toda una estación.

### **Temperatura**

La temperatura es un factor muy importante para determinar la solubilidad de los parámetros químicos. Es muy utilizado para medir las tasas de actividades químicas biológicas. La temperatura interviene en la transferencia de oxígeno y el valor de oxígeno saturado, ya que cuando la temperatura aumenta la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye. A mayor temperatura se produce el mal olor y también el crecimiento de ciertas especies animales y vegetales en los ríos, riachuelos, etc. [28].

Según Jiménez y Llico [18], lo consideran como un parámetro físico que mide las sensaciones de calor y frío. Desde un punto de vista microscópico, la energía cinética interna promedio dentro las moléculas es considerada fruto de la temperatura y se encuentra en investigación, afectando la cantidad de oxígeno que el agua puede transportar. El agua más fría transporta más oxígeno, que es esencial para la vida acuática.

### **Potencial de hidrógeno (pH)**

Según Mena [25], el potencial de hidrógeno del agua indica el equilibrio entre ácidos y bases en el agua. Es importante en todas las reacciones químicas que involucran la formación, cambio y disolución de sustancia, su valor en cuerpos de agua naturales está relacionado con la geología de la tierra a través de la cual fluye el agua y está controlado por el equilibrio  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ . La cantidad relativa de cada uno afecta el potencial de hidrógeno del agua de manera directa. Los procesos biológicos como son la fotosíntesis de las plantas y respiración de especies acuáticas, así como la aireación afectan el potencial de hidrógeno del agua al cambiar la concentración de dióxido de carbono.

Según Romero [29], los comportamientos ácido y básico del agua, son parte de la propiedad química esencial para el desarrollo de los organismos acuáticos. Se mide en una escala de 0 a 14. En una escala de 7 el agua es neutra, por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 es alcalina. La mayoría de las aguas naturales tienen un potencial de hidrógeno entre 6 y 9, pero cuando los niveles son extremos provocan irritación en piel, ojos y mucosas.

Según Marín [30], menciona el potencial del hidrógeno como propiedad química crucial para el desarrollo de los organismos acuáticos, ya que indica el comportamiento ácido-base del agua. El pH se puede medir en una escala de 0 a 14, donde el agua por debajo de 7 es neutra, por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 es alcalina.

### **Conductividad eléctrica (CE)**

Según Terrones [31], es la capacidad del agua para pasar una corriente eléctrica. La presencia de sólidos inorgánicos disueltos en el agua, así como el magnesio, aluminio, nitrato, cloruro, hierro, calcio, etc., afectan la conductividad eléctrica del agua, además a una temperatura de 25 °C se ve afectada su conductividad eléctrica. La misma postura es la de Tevés [26].

Según Mena [25], la conductividad es un indicador de la capacidad de una solución de agua para conducir la corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, concentración, movilidad y valencia de los iones presentes y de la temperatura del agua. La conductividad aumenta con la temperatura en aprox. 1,9 %/°C. La conductividad está relacionada con el contenido de sustancias ionizadas, es decir, con las sales disueltas en el agua. No tiene especificidad. Las soluciones iónicas

inorgánicas son mejores conductoras. En general, las soluciones orgánicas son malas conductoras de la electricidad.

### **Coliformes fecales**

Según Flores [33], los coliformes se definen como todas las bacterias Gram-negativas en forma de bastón que fermentan la lactosa a  $36 \pm 1$  °C durante 24-48 horas para formar ácido y gas, son aeróbicas o anaeróbicas facultativas, oxidasas negativas y no producen esporas. Los coliformes como todas las bacterias son procedentes de las excretas humanas y animales, por lo tanto, la presencia de coliformes fecales en la superficie del agua indica la contaminación de aguas por residuos humanos y animales.

Según Ríos et al. [34], los coliformes están presentes en el medio ambiente y estas tienen una probabilidad de causar enfermedades. Estas pueden estar presentes en el agua potable las cuales podrían contaminar los suministros de agua.

Las bacterias son un subgrupo de coliformes totales que se caracterizan por la fermentación de la lactosa con producción de gas cuando están en una temperatura de 44.5 °C a 0.2 °C [35].

### **Metales pesados**

Según Romero [36], los metales pesados son sustancias naturales con alto peso molecular, se distribuyen ampliamente y son muy útiles en muchas situaciones, como el plomo y el cadmio, que se usan ampliamente en la plomería. Cuando hablamos de contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud que afectan a diferentes órganos, la presencia de alta concentración en el cuerpo del agua tiene efectos en la salud y afectan directamente a la salud del hombre, animales y flora.

Según Vilca y Gordillo [37], los metales pesados son aquellos que poseen una densidad igual o mayor que  $5 \text{ g/cm}^3$  y están presentes en la corteza terrestre constituyendo menos del 0,1 % de la corteza, estos metales pesados interactúan con arcillas, oxihidróxidos de materia orgánica, su alto contenido en los cuerpos de agua es el principal problema ambiental de la actualidad a consecuencia de su explotación y uso generalizado, estos tienen efectos tóxicos, ya que permanecen por mucho tiempo en el medio ambiente y son de difícil degradación. Por otra parte, el cobre, cobalto, zinc y molibdeno son esenciales para el organismo en cantidades pequeñas. Otros metales sin funciones metabólicas, como el plomo, el mercurio, el cadmio, el níquel y el arsénico, también pueden producir efectos tóxicos en los organismos en altas

concentraciones. Los metales pesados son un grupo de elementos químicos con una alta densidad y la mayoría de estos metales son tóxicos para los humanos, el aumento de las concentraciones de estos metales en el agua se produce por la industrialización o la minería en su mayor porcentaje y se convierte en una fuente de contaminación de los ríos.

**Tabla 2. Metales pesados según ICA-PE**

<b>Metales pesados</b>	
<b>Al</b>	Los minerales principales asociados al aluminio son la bauxita y óxidos de aluminio que son usados como abrasivos. Se usa en intercambiadores de calor y construcción de partes de aviones, contenedores y en material de construcción. A valores mayores de 1.5 mg/L constituye un tóxico peligroso en los ambientes marinos. Para aguas de consumo, la EPA recomienda concentraciones máximas permisibles de 0.05 mg/L
<b>As</b>	La contaminación por As aparece asociada a la fabricación o utilización de herbicidas o pesticidas. Obstaculiza reproducción celular. Los tejidos de muchos organismos lo acumulan, por tanto, sus efectos dañinos pueden durar un tiempo cuando la concentración es baja, pero a pesar de ello es mortal.
<b>B</b>	El boro lleva a la hidrosfera desde los continentes, por los procesos de erosión de rocas y por la circulación hidrotermal desde la corteza oceánica. Su principal fuente son los minerales de borato, bórax, la colemanita, kernita. Se utiliza en la fabricación de vidrio, cerámicos y esmaltes, en compuestos de boro, ablandadores de agua, jabones y detergentes.
<b>Cd</b>	Es especialmente peligroso, ya que se puede combinar con otras sustancias tóxicas. Afecta principalmente a los micromoluscos (no se desarrolla la concha). Produce graves enfermedades cardiovasculares en el hombre, además, es un irritante gastrointestinal.
<b>Cu</b>	Su toxicidad sobre los organismos acuáticos varía con la especie, características físicas y químicas del agua, como temperatura, dureza, turbidez y contenido de CO <sub>2</sub> . En aguas subterráneas puede haber concentraciones de hierro ferroso, al entrar esta agua en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable, el hierro promueve la proliferación de bacterias ferruginosas, no se puede apreciar sabor en aguas concentradas por debajo de 0.3 mg/l, sí se puede apreciar turbidez y coloración.
<b>Fe</b>	
<b>Mn</b>	Su oxidación posibilita la formación de precipitados, generando turbiedad y disminución de la calidad estética de los cuerpos de agua.
<b>Hg</b>	Cuando está presente en agua de consumo, de una u otra forma, invade el cuerpo humano a través de los tejidos de la piel o ingestión de comida, preparada con dicha agua. Debilita progresivamente los músculos, pérdida de visión, deteriora otras funciones cerebrales, genera parálisis eventual, estado de coma o muerte.
<b>Pb</b>	Compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano. Produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables. Cuando el agua está contaminada con sales de plomo, se forma en los peces una película mucosa coagulante, primero sobre las agallas y luego sobre todo el cuerpo, causándole sofocación.
<b>Z</b>	El zinc le confiere al agua un sabor astringente indeseable, concentraciones mayores de 3-5 mg/l puede obtener un color opalino y producir una película oleosa al hervir, el zinc es utilizado en materiales de fontanería galvanizados.

*Nota:* Muestra parámetros para los metales pesados según ICA-PE [38]

### **Metales pesados y sus efectos en la salud**

Según Londoño et al. [39], los metales pesados son agentes que son tóxicos para la salud del hombre y también en el ecosistema, ya que estos metales son bioacumuladores, también son elementos químicos que se encuentran en la corteza

terrestre. Estos metales son contaminantes en cuanto a su mal manejo o disposición de los desechos industriales y mineros. Los efectos en la salud son graves, ya que pueden sufrir alteraciones genéticas y otras en la salud del hombre, animales y plantas. Hay metales como el plomo que hace daño al sistema nervioso, el cadmio tiene efectos tóxicos en los riñones, el arsénico afecta a la mitocondria; los daños que puedan causar estos metales son diferentes de acuerdo con el metal y la cantidad que se absorbe y se acumula en el organismo. En conclusión, los metales pesados son poderosos agentes que tienen efectos significativos en la salud y así también en el ecosistema.

### **Hierro**

Según Jiménez y Llico [18], este elemento químico es el segundo elemento metálico más abundante en la corteza terrestre con estados de oxidación (2+ y 3+). El hierro se encuentra principalmente como  $Fe_{2+}$ , que es estable en la corteza terrestre en condiciones anóxicas y ácidas. El hierro es un metal maleable con una densidad de 7.86 g/ml su presencia en los cuerpos de agua provoca la precipitación y coloración no deseada, ya que al entrar en contacto con la atmósfera se da una oxidación presentando una coloración marrón rojiza.

### **Cobre**

Según Jiménez y Llico [18], este elemento es uno de los elementos químicos que es relativamente soluble, ya que es absorbido en fase sólida, en los cuerpos de aguas naturales tiene una concentración baja debido a la presencia de sulfuros. Si estos presentan mayor concentración en los cuerpos de agua puede ser por actividades mineras e industriales. Este oligoelemento está ampliamente distribuido en los cuerpos de agua, pero la mayoría de los minerales de cobre son relativamente insolubles porque el cobre se absorbe en la fase sólida y está presente en pequeñas concentraciones en las aguas naturales. La solubilidad del cobre en ambiente anóxico debe ser menor debido a la presencia de sulfuros. La presencia de concentraciones más altas en las aguas superficiales naturales se puede atribuir a los desechos industriales o la minería.

El mineral de cobre está distribuido en las cuencas hidrográficas, el cobre es relativamente insoluble que es absorbida en fase sólida y en aguas naturales existe una baja concentración [40].

Es poco soluble en el agua, con un pH moderadamente ácido y su disponibilidad depende de algunos factores y características que influyen en su complejo arcilloso del suelo húmico [46].

El cobre se encuentra de forma sulfúrica en la corteza terrestre y las principales fuentes de contaminación con cobre es por uso excesivo, inapropiado y mal depósito de pesticidas y fungicidas y estas contaminan las aguas subterráneas y que son consumidas por el hombre, las cuales tienen un efecto tóxico en la salud del hombre, animal y plantas [37].

### **Cromo**

Según Jiménez y Llico [18], es un elemento químico metálico, de color blanco plateado, duro y quebradizo, cuyo principal uso es en la producción de aleaciones anticorrosivas de alta resistencia y resistentes al calor y como recubrimiento de capas galvanizadas.

Según Vilca y Gordillo [37], el cromo en el suelo se encuentra principalmente en forma de  $[\text{Cr}(\text{OH})^3]$  o cromo (III) y es absorbido por los componentes del suelo. La forma dominante de cromo (III) dependerá en gran medida del valor del potencial de hidrógeno o pH, por lo que en suelos ácidos con  $\text{pH} < 4$  estarán dominados por la forma  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})^6]^3$ , mientras que sus productos hidrolizados a un  $\text{pH} < 5,5$  principalmente  $[\text{Cr}(\text{OH})^3]^2$ , estas dos formas se absorbieron fácilmente en la arcilla del suelo, y su adsorción mejoró con el aumento del pH debido a la generación de cargas negativas en la superficie de la arcilla.

El cromo es un metal pesado presente en la corteza terrestre en forma de compuestos, y este mineral es más importante que la cromita (cromoferrita, pirita crómica) y se encuentra más en rocas, suelo, gases volcánicos, etc., y se produce de forma natural en la versión beta resultante [46].

Según Chávez [41], el cromo existe en forma de hidróxido en el suelo y es absorbido por la materia orgánica, este metal es un oxidante y exhibe efectos tóxicos crónicos.

### **Arsénico**

Según Jiménez y Llico [18], este metal pesado es tóxico y altamente tóxico y se presenta en aguas naturales como arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) y arsenito ( $\text{AsO}_2^-$ ); su presencia puede estar relacionada con descargas industriales o uso de pesticidas. Según estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua, se ha detectado la presencia de arsénico en algunos sitios de muestreo de la cuenca evaluada debido a su aporte litológico zonal.

Es un metal pesado y altamente tóxico, y su presencia puede estar asociada con emisiones industriales o uso de pesticidas. Según un estudio de la Autoridad Nacional del Agua, encontraron la presencia de arsénico en sus resultados debido al aporte litológico de algunos sitios de muestreo a las cuencas hidrológicas de la región [40].

Según Vilca y Gordillo [37], el arsénico se encuentra superficialmente en la materia orgánica, estos suelen estar cargados negativamente, por lo que tienen una mayor retención de cationes. Este metal tiene poca movilidad en el suelo porque se encuentra en forma aniónica.

### **2.2.3. Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Un ICA consiste, básicamente, en una expresión simple que consiste en un conjunto valioso de parámetros utilizados como una expresión de la calidad del agua, con el objetivo de hacer que la información relevante para la ciencia básica y la ingeniería sea fácil de interpretar y de uso común, necesaria para aprender sobre otros usuarios de la fuente. Los índices se pueden representar mediante números, áreas, descripciones verbales, símbolos o incluso colores [42].

Esto se hace evaluando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales son evaluados con un valor de 0 cuando los parámetros son de muy mala calidad y llega a un valor de 100 cuando los parámetros medibles son de excelente calidad. Estos índices determinan la clase de calidad de la masa de agua y expresan su idoneidad para un fin determinado, esta es una forma de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que tal medida sea práctica, una gran cantidad de parámetros deben reducirse a una forma más simple, sacrificando alguna información en el proceso. Los índices de calidad son herramientas muy útiles para propósitos de comparación, por ejemplo, para indicar los niveles de calidad del agua en diferentes sitios de muestreo. Sin embargo, cualquier índice contiene menos información que los datos de los que se deriva, por lo que no reemplaza un análisis detallado de los datos obtenidos de un programa de monitoreo. Tampoco debe utilizarse como único criterio para la toma de decisiones y la gestión de los recursos hídricos [40].

#### **Ventajas**

- Permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.
- Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.
- Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.

- Permite a los usuarios una fácil interpretación de los datos.
- Pueden identificarse tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.
- Permiten priorizar para evaluaciones de calidad de agua más detalladas.
- Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad de agua.
- Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.

### **Limitaciones**

- Proporciona un resumen de los datos.
- No proporciona información completa sobre la calidad del agua.
- No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
- Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
- No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
- Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
- Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como herramienta para la gestión.

#### **2.2.4. Parámetros evaluados en el ICA-PE**

Con base en el análisis de la información del monitoreo de la calidad del agua, se han determinado los parámetros necesarios para la evaluación de los recursos hídricos a fin de determinar el nivel de riesgos para la salud y el medio ambiente al que está expuesta el agua [40].

#### **2.2.5. Cálculo del ICA-PE**

Se utiliza una fórmula con tres factores (alcance, frecuencia y amplitud) los cuales brindan un resultado en una escala de 0 a 100, describiendo así el estado de la calidad del agua en un punto de agua, río o cuenca [40].

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen el ECA Agua}}{\text{Número total de parámetros por evaluar}}$$

F1: Alcance que representa los estándares de calidad ambiental para el agua.

$$F_2 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen el ECA Agua de los datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

F2: Frecuencia: representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental ECA-Agua respecto a los datos evaluados en un mínimo de 4 monitores.

$$F_3 = \left( \frac{\text{suma normalizada de excedentes}}{\text{suma normalizada excedente} + 1} \right) * 100$$

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

Suma normalizada de excedentes (nse).

$$nse = \text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum_i^n \text{Excedente}}{\text{Total de datos}}$$

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-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:

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

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA-Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el oxígeno disuelto (>4), pH (>6.5, <8.5), el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

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

Una vez obtenidos los factores (F, F2 y F3) se procede a realizar el cálculo del índice de calidad de agua: que es la diferencia de un rango de 0 a 100 el valor que representa un ICA de excelente calidad y 0 el valor que representa un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que representa un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que viene dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de cuadrados de los tres factores.

$$CCME_{wQI} = 100 - \left( \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right)$$

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad del agua, se empleó una aplicación en Microsoft Excel (hoja de cálculo), un macro donde se introdujo los datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores, de tal forma que el valor del índice de calidad de agua se representa con un valor adimensional comprendido en el rango de 1 a 100 que determina si la calidad de agua es mala, regular, favorable, buena y excelente.

**Tabla 3. Interpretación de la calificación ICA – PE**

CCME WQI	Clasificación	Interpretación
95-100	EXCELENTE	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80-94	BUENA	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65-79	FAVORABLE	La calidad del 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	REGULAR	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0-44	MALA	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

*Nota:* Esta tabla muestra la determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA – PE) [40].

Este indicador de calidad del agua, aplicado en el tiempo, evalúa la frecuencia de los parámetros considerados como físicos, químicos y microbiológicos; y a través de una herramienta matemática, permite convertir grandes cantidades de datos (parámetros de concentración probados) en una única escala de medida, expresada como porcentaje. Dado que el valor del ICA es cercano al 0 %, lo que muestra que la calidad del agua de este punto de monitoreo está severamente degradada, en excelentes condiciones tiene un valor de este indicador cercano al 100 % [40].

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque de la investigación**

Según Hernández et al. [43], el enfoque de la investigación fue cuantitativa "ya que la recopilación de datos se utilizó para probar hipótesis, establecer patrones de comportamiento y probar teorías basadas en mediciones numéricas y análisis estadístico" (p. 25); porque se realizó la comprensión del análisis de la calidad fisicoquímica del agua en el río Challhuahuacho aplicando la metodología ICA-PE.

#### **3.2. Tipo de investigación**

Según la finalidad, la investigación fue de tipo básico. Que es la que persigue propósitos teóricos en el sentido de aumentar el acervo de conocimientos de una determinada teoría [44].

Así mismo, como explica Hernández et al. [43]. La investigación es de tipo básico "es la que se encarga de producir conocimiento y teorías" (p. 25), con esta breve introducción se puede indicar que la presente investigación realizó el análisis de la calidad fisicoquímica del agua en el río Challhuahuacho aplicando la metodología ICA-PE.

#### **3.3. Nivel de investigación**

El trabajo de investigación es de nivel descriptivo porque pretende "describir los resultados obtenidos" [43]. Con este diseño se pretendió analizar la calidad fisicoquímica del agua del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac. Aplicando de esta forma la metodología de evaluación ICA-PE.

### 3.4. Métodos de investigación

#### Analítico-sintético

El método analítico se utilizó para poder analizar los resultados obtenidos de las dos muestras enviadas al laboratorio y posteriormente hacer una síntesis de la calidad fisicoquímica del agua del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac a través de la metodología de evaluación ICA-PE.

### 3.5. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental de tipo transversal. Será de diseño no experimental porque implica solo de la observación del hecho en su estado natural sin ninguna intervención de los investigadores.

Es no experimental debido a que “no se manipuló la variable y se observó el fenómeno tal y como se dio en su contexto natural para luego analizarlo” [43]. Es del tipo transversal porque recaba “datos en un solo momento, para realizar la descripción de las diferentes causas y sus efectos” [43].

### 3.6. Población y muestra

#### 3.6.1. Población

La población estuvo constituida por las aguas del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac.

#### 3.6.2. Muestra

En la presente investigación se tiene como muestra las aguas de la microcuenca del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac.

**Tabla 4. Descripción de la muestra**

Ítems	Descripción	Numero de muestras
1	Toma de muestra para ensayos FQ (dos por zona de muestreo)	4
2	Toma de muestra para ensayos ICP (dos por zona de muestreo)	4
3	Toma de muestras para ensayos DBO (uno por zona de muestreo)	2
4	Toma de muestras para oxígeno disuelto (uno por zona de muestreo)	2
5	Toma de muestras para ensayos microbiológicos disuelto (uno por zona de muestreo)	2
	<b>Total</b>	<b>14</b>

### **3.7. Metodología**

#### **3.7.1. Técnicas**

Se realizó el análisis de resultados de laboratorio de las muestras de agua tomadas en dos puntos, el primer punto de muestreo se ubica en la cuenca del río en la parte superior de la capital del distrito Challhuahuacho, mientras que el segundo punto de muestreo se encuentra en la parte baja casi a la salida del mismo distrito, para ambas muestras se ha utilizado la metodología de evaluación ICA-PE (agua utilizada en el riego de vegetales y bebida de animales).

#### **A. Diseño**

En la investigación no se tomó en cuenta el diseño de un instrumento debido a que la recolección de muestras se realizó utilizando el método ICA-PE y los resultados obtenidos de las muestras fueron a través de un análisis fisicoquímico realizado por un laboratorio certificado.

#### **B. Confiabilidad**

Según McDaniel y Gates [47], la confiabilidad “es la capacidad del mismo instrumento para producir resultados congruentes cuando se aplica por segunda vez, en condiciones tan parecidas como sea posible”. La confiabilidad es alta debido a que se trabajó con la metodología de evaluación ICA-PE y con resultados de laboratorio de agua.

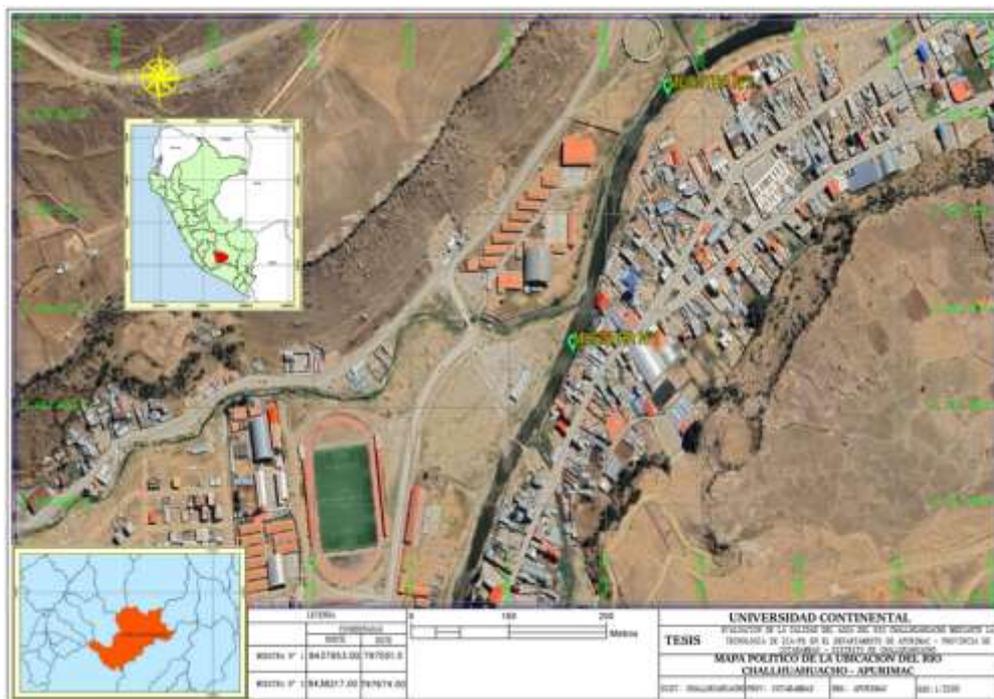
#### **C. Validez**

Según Bernal [48], “un aspecto fundamental en el diseño de experimentos es la validez de los resultados que se obtengan de estos”, la metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA- PE, no requirió la Ficha de Validación por Criterio de Experto; por ser un método ampliamente utilizado a nivel nacional.

#### **3.7.2. Determinación de puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del agua**

Los puntos de muestreo para determinar el índice de calidad de agua en el río Challhuahuacho fueron aguas arriba de la descarga de efluentes mineros en el río y otras aguas abajo, después de la descarga, para evaluar la calidad del agua antes y después de la eliminación de las aguas residuales mineras.

- Muestra 1: río Challhuahuacho / Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797551.00E; 8437953.00N 18L
- Muestra 2: río Challhuahuacho / Sector Colegio/ Apurímac. Con coordenadas 797674.00E; 8438217.00N 18L



**Figura 1. Mapa del distrito de Challhuahuacho**

*Nota:* La imagen muestra el mapa del distrito de Challhuahuacho del 2022 a una escala de 1/2500 metros donde se observan los puntos de las muestras 1 y 2

### 3.8. Materiales

Los instrumentos utilizados fueron previamente esterilizados y etiquetados.

1. Dos envases de plástico de litro por zona de muestreo
2. Dos envases de plástico de medio litro por zona de muestreo
3. Un envase de cristal de litro por zona de muestreo
4. Un envase de cristal de medio litro por zona de muestreo
5. Frascos proporcionados por el laboratorio para análisis bacteriológico
6. Recipientes de PVC, proporcionados por el laboratorio para análisis fisicoquímico
7. Dos recipientes regulares de 250 ml proporcionados por el laboratorio para análisis DBO

Posterior a la toma de muestra, estos fueron colocados en un *cooler* para mantener una temperatura baja con respecto a la ambiental, sin embargo, durante el muestreo fue necesario cubrir las muestras con una capa de hielo para mantener la temperatura y las propiedades de la muestra.

### **3.9. Procedimiento**

#### **3.9.1. Metodología para analizar las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho**

Estando en los puntos de muestreo, se procedió a la recolección de muestras de agua, siguiendo el siguiente proceso.

- Antes de recolectar muestras, se calibraron los instrumentos para medir el pH y la temperatura. Cada registro de datos incluyó la fecha, hora de muestreo, ubicación y coordenadas UTM utilizando un dispositivo Garmin GPS.
- Las muestras se recolectaron en contenedores proporcionados por el laboratorio.
- Para recolectar muestras para el análisis de la DBO, las botellas se abrieron con cuidado, se invirtieron aproximadamente 30 cm debajo de la superficie del agua para llenarlas, evitando el contacto de la mano con el agua. Las botellas se llenaron hasta aproximadamente tres cuartos de su capacidad, se taparon inmediatamente, se colocaron en una caja y se enviaron al laboratorio.
- Posteriormente se enjuagó los recipientes de plástico etiquetados como "FQ" dos veces con la muestra y se llenaron por completo y se enjuagó un recipiente de vidrio de ½ litro etiquetado como "ICP" dos veces con la muestra y llenado por completo.
- Se usó guantes desechables nuevos y se recogió la muestra directamente en un recipiente de vidrio de 500 ml etiquetado como "MB", sin tocar el interior de la tapa del recipiente y se llenó el recipiente hasta aproximadamente tres cuartos (unos 400 ml), fueron tapados de inmediato y colocados en el *cooler*.
- Al final se hizo uso, de un recipiente de vidrio Winkler de 200 ml marcado como "OD", que fue enjuagado dos veces, luego llenado manteniendo el aire fuera y sellado correctamente.

Para analizar las características fisicoquímicas del agua se seleccionaron los parámetros de muestreo en función de las Normas Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua. Se utilizaron diferentes métodos para analizar diversos parámetros, como se detalla en la tabla 5.

**Tabla 5. Métodos de ensayo utilizados para la toma de muestras.**

<b>Código</b>	<b>Título</b>	<b>Rango de método analítico</b>
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistibilidad del agua	[-50*] mS/cm
*841	Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW 23rd Ed. Part 4500-O C. Azide Modification	[ <sup>a</sup> 0.18 - 20] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, revisión 4.4 arsénico total (método de ensayo acreditado)	[-2.5] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, revisión 4.4 mercurio total (método de ensayo acreditado)	[-2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, revisión 4.4 metales totales (método de ensayo acreditado)	[-2.5] mg/L
808	pH en aguas, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ Part B 23rd Ed. Electrometric Method. (método de ensayo acreditado)	[-14] Unidad de pH
859	Demanda bioquímica de oxígeno, DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test. (método de ensayo acreditado)	[ <sup>a</sup> 0 - 20000] mg/L
871	Numeración de Coliformes Totales (NMP). SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 B, 23rd Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique (método de ensayo acreditado)	[ <sup>a</sup> 1.8 - 160000000000] NMP/100mL

*Nota:* Se muestran los métodos de ensayo utilizados para la toma de muestras en función a la metodología del ICA-PE [1]

### **3.9.2. Metodología para determinar el índice de calidad fisicoquímica del agua de la cuenca de Challhuahuacho**

Estando en los puntos de muestreo, se procedió a la recolección de muestras de agua, siguiendo el proceso descrito anteriormente para la DBO, los recipientes de plástico etiquetados como "FQ", el recipiente de vidrio de ½ litro etiquetado como "ICP" y el recipiente de vidrio de 500 ml etiquetado como "MB".

Para lograr el análisis del índice de calidad fisicoquímica del agua se seleccionaron los parámetros de muestreo en función de las Normas Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua, específicamente, la categoría 3 para las subcategorías D1 y D2. Se utilizaron diferentes métodos de ensayo para cada parámetro, como se indica en la tabla 3.

Posteriormente, los parámetros de muestreo se compararon con los valores límite establecidos en la categoría 3 para las subcategorías D1 y D2, como se muestra en la tabla 5. Estos valores se utilizaron para calcular el índice de calidad del agua fisicoquímica.

Además de determinar el ICA-PE con el cálculo en función de los excedentes de los parámetros de muestreo en relación con los valores límite de la categoría 3 para las subcategorías D1 y D2. Esto se realizó siguiendo los factores y valor final descritos en la tabla 6.

Por último, se realizó la interpretación del índice de calidad del agua utilizando la tabla de interpretación de la calificación ICA-PE (tabla 2). Esto proporciona una evaluación de la calidad del agua en términos de su clasificación. Se interpretaron los resultados del ICA-PE utilizando una tabla de interpretación que clasifica la calidad del agua en diferentes categorías, desde "Excelente" hasta "Mala", en función de los valores obtenidos.

Este procedimiento permitirá evaluar y clasificar la calidad fisicoquímica del agua en la cuenca de Challhuahuacho, lo que es esencial para comprender su estado y tomar medidas adecuadas de protección y gestión ambiental.

**Tabla 6. Análisis de características fisicoquímicas del agua según el ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2**

Parámetros ECA				
Ensayos		ECA		
Parámetro	Unidad	LCM	D1	D2
Conductividad (CE)	μS/cm		2500	5000
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L		>=4	>=5
pH	mg/L		6.5-8.5	6.5-8.4
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO-5)	mg/L		15	15
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	5	5
Arsénico (As)	mg/L	0.003	0.1	0.2
Boro (B)	mg/L	0.021	1	5
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.01	0.05
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	0.2	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	5	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.2	0.2
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.05	0.05
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	2	24
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002	0.5	0.5
(*) Coliformes totales	NMP/ 100 mL	1.8	1000	1000
(*) Huevos y larvas de helmintos	N.º /L	1	<1	<1

*Nota:* Esta tabla muestra las características fisicoquímicas del agua para determinar los parámetros de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2

**Tabla 7. Parámetros de evaluación para el cálculo de Excedentes, factores y valor final del ICA-PE, del ECA categoría 3, subcategoría D1 y subcategoría D2.**

Ensayos		ECA	
Parámetro	Unidad	D1	D2
CE	mS/cm	2500	5000
O2	mg/L	≥4	≥5
pH	mg/L	6.5-8.5	6.5-8.4
DBO-5	mg/L	15	15
Aluminio (Al)	mg/L	5	15
Arsénico (As)	mg/L	0.1	5
Boro (B)	mg/L	1	0.2
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	5
Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.05
Hierro (Fe)	mg/L	5	0.5
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	
Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.2
Zinc (Zn)	mg/L	2	0.05
Mercurio (Hg)	mg/L	0.5	24
Coliformes totales	NMP/ 100mL	2000	0.5
Huevos y larvas de helmintos	N.º /L	<1	<1
Sumatoria de excedentes			
ICA - PE			

*Nota:* Esta tabla muestra los valores ECA categoría 3, subcategoría D1 y subcategoría D2 utilizados en la determinación del índice de calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho, departamento de Apurímac, con sus correspondientes excedentes en función al ICA-PE

### **3.9.3. Metodología para determinar el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho departamento de Apurímac**

Estando en los puntos de muestreo, se procedió a la recolección de muestras de agua siguiendo el proceso descrito anteriormente para la DBO, los recipientes de plástico etiquetados como "FQ", el recipiente de vidrio de ½ litro etiquetado como "ICP" y el recipiente de vidrio de 500 ml etiquetado como "MB".

Se determinó el índice de riesgo para elementos eco-tóxicos según los límites máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º 010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente (tabla 8). Estos parámetros se utilizaron para evaluar el riesgo asociado a los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial.

Este procedimiento permite evaluar la calidad del agua en la cuenca de Challhuahuacho y determinar el índice de riesgo para elementos eco-tóxicos, lo que es esencial para monitorear y proteger los recursos hídricos en esa región.

**Tabla 8. Límites máximos permisibles para actividades minero-metalúrgicas utilizado en la evaluación de parámetros de las muestras 1 y 2**

	<b>Método</b>	<b>Unidad de medida</b>
	<b>Fisicoquímico</b>	
*807	Conductividad eléctrica	mS/cm
808	pH	Unidad de pH
*841	Oxígeno disuelto	mg/L
859	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
	<b>Inorgánico</b>	
796	Arsénico	mg/L
800	Mercurio	mg/L
802	Cadmio	mg/L
802	Boro	mg/L
802	Cobre	mg/L
802	Fierro	mg/L
802	Manganeso	mg/L
802	Zinc	mg/L
802	Aluminio	mg/L
802	Plomo	mg/L
	<b>Microbiológicos y parasitológicos</b>	
871	Coliformes total	NMP/ 100 mL

*Nota: En la tabla se muestran los límites máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades mineras-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente, utilizados en la evaluación de los parámetros de las muestras 01 y 02.*

#### **3.9.4. Unidad de análisis**

El presente trabajo de investigación tuvo como unidad de análisis los parámetros de evaluación del análisis de la calidad fisicoquímica y biológica del agua del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac.

**Tabla 9. Parámetros de análisis de agua categoría 3, subcategoría D1 y D2**

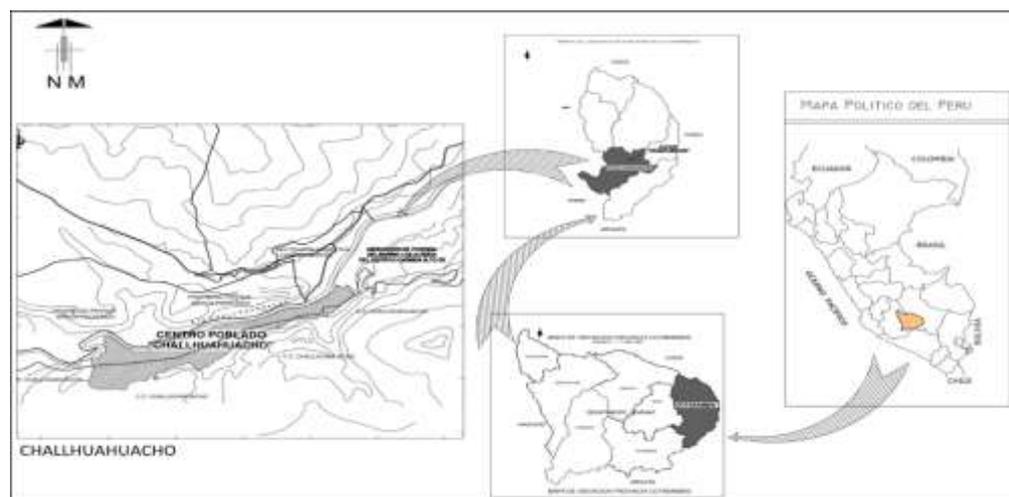
<b>Categoría 3</b>		
<b>D1 – D2</b>		
<b>Nº</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>
1	Conductividad	µS/cm
2	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
3	Oxígeno Disuelto	mg/L
4	Potencial de Hidrogeno	Unidad de PH
5	Aluminio	mg/L
6	Arsénico	mg/L
7	Boro	mg/L
8	Cadmio	mg/L
9	Cobre	mg/L
10	Hierro	mg/L
11	Manganeso	mg/L
12	Mercurio	mg/L
13	Plomo	mg/L
14	Zinc	mg/L
15	Coliformes Termo tolerantes	NMP/100ml
16	Huevos y Larvas Helmintos.	Huevos/L

*Nota:* Esta tabla muestra parámetros fisicoquímicos de agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 con sus respectivos parámetros [1].

**Tabla 10. Información de las coordenadas de las muestras**

<b>Muestra</b>	<b>Punto</b>	<b>Coordenadas</b>			<b>Parámetros F.Q.</b>	
		<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Cota</b>	<b>Tº</b>	<b>PH</b>
M-01	01	797551.00	8437953.00	18	19.0	8.09
M-02	02	797674.00	8438217.00	18	18.8	8.13

*Nota:* Esta tabla muestra las coordenadas y parámetros de la zonificación de las muestras 1 y 2



**Figura 2. Mapa político de la ubicación del río**

*Nota:* La imagen muestra el mapa político de la ubicación del río del Challhuahuacho del 2022 a una escala de 1:250 metros

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac

**Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Challhuahuacho – muestra 1**

N.º	Código interno de Laboratorios Analíticos del Sur		AG22000033
	Nombre de muestra		M-01
807	CE	µS/cm	0.073
	T	°C	18.5
841	OD	mg/L	6.5
796	As	mg/L	0.0103
800	Hg	mg/L	0.00049
802	Al	mg/L	1.02
	B	mg/L	0.011
	Cd	mg/L	b<0.00011
	Cu	mg/L	0.2195
	Fe	mg/L	0.64
	Mn	mg/L	0.03525
	Pb	mg/L	b<0.0026
	Zn	mg/L	b<0.0031
808	pH	Unidad	8.09
	T	°C	19
859	DBO-5	mg/L	4

*Nota:* Esta tabla muestra parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Challhuahuacho de la muestra 1, se obtuvieron los siguientes parámetros: aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc. Además de los parámetros de pH, temperatura, DBO-5, temperatura del agua y oxígeno disuelto

La tabla 11 muestra los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Chalhuahuacho de la muestra 1 encontrando conductividad con valor de 0.073 µS/cm, pH con valor de 6.5 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno con valor de 4 mg/L, aluminio con valor de 1.02 mg/L, arsénico con valor de 0.0103 mg/L, boro con vales de 0.011 mg/L, cadmio con valor menor a 0.00011 mg/L, hierro con valor de 0.64 mg/L,

manganeso con valor de 0.03525 mg/L, plomo con valor menor a 0.0026 mg/L, zinc con valor menor a 0.032 mg/L, mercurio con valor menor a 0.00049 mg/L, oxígeno disuelto con un valor de 6.5 mg/L y cobre con un valor de 0.2195 mg/L.

**Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Challhuahuacho - muestra 02.**

N.º	Código interno Laboratorios Analíticos del Sur		AG22000034
	Nombre de muestra		M-02
807	CE	µS/cm	0.354
	T	°C	18.7
841	OD	mg/L	6.5
796	As	mg/L	b<0.0012
800	Hg	mg/L	0.00436
802	Al	mg/L	0.674
	B	mg/L	0.0208
	Cd	mg/L	b<0.00011
	Cu	mg/L	0.2256
	Fe	mg/L	0.509
	Mn	mg/L	0.0441
	Pb	mg/L	b<0.0026
	Zn	mg/L	b<0.0031
808	pH	Unidad	8.13
	T	°C	18.8
859	DBO-5	mg/L	4

*Nota:* Esta tabla muestra parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Challhuahuacho de la muestra 2, se obtuvieron los siguientes parámetros: aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc. Además de los parámetros de pH, temperatura, DBO-5, temperatura del agua y oxígeno disuelto

La tabla 12 muestra los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Chalhuahuacho de la muestra 2 encontrando conductividad con valor de 0.354 µS/cm, pH con valor de 6.5 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno con valor de 4 mg/L, aluminio con valor de 0.647 mg/L, arsénico con valor menor a 0.0012 mg/, boro con valor menor a 0.0208 mg/L, cadmio con valor menor a 0.00011 mg/L, hierro con valor de 0.509 mg/L, manganeso con valor de 0.0441 mg/L, plomo con valor menor a 0.0026 mg/L, zinc con valor menor a 0.031 mg/L, mercurio con valor menor a 0.00436 mg/L, oxígeno disuelto con un valor de 6.5 mg/L y cobre con un valor de 0.2256 mg/L.

**Tabla 13. Parámetros microbiológicos de la cuenca del río Challhuahuacho – muestra 1**

Código interno LAS	Nombre de muestra	#71
		Coliformes totales NMP/100 mL
AG22000033	Muestra 1	79 × 10 <sup>2</sup>

*Nota:* Esta tabla presenta los valores microbiológicos de coliformes totales en el río Challhuahuacho correspondiente al número más probable por cada 100 mililitros de agua en la muestra 01.

La tabla 13 se realizó haciendo uso de los resultados obtenidos de la muestra 1 de agua del río Challhuahuacho en las instalaciones del laboratorio de agua de los Laboratorios Analíticos del Sur E. I. R. L., en función a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Para Agua. D. S. N.º 015-2015-Minam; encontrándose la presencia de coliformes fecales en  $79 \times 10^2$  NMP/100 mL y no encontrando presencia de huevos de insectos, estos resultados servirán para la comparación con los resultados de la muestra 2 y los ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2 de la metodología de ICA-PE.

**Tabla 14. Parámetros microbiológicos de la cuenca del río Challhuahuacho – muestra 2**

Código interno LAS	Nombre de muestra	#71
		Coliformes totales NMP/100 mL
AG22000034	Muestra 02	$11 \times 10^3$

*Nota:* Esta tabla presenta los valores microbiológicos de coliformes totales en el río Challhuahuacho correspondiente al número más probable por cada 100 mililitros de agua en la muestra 2

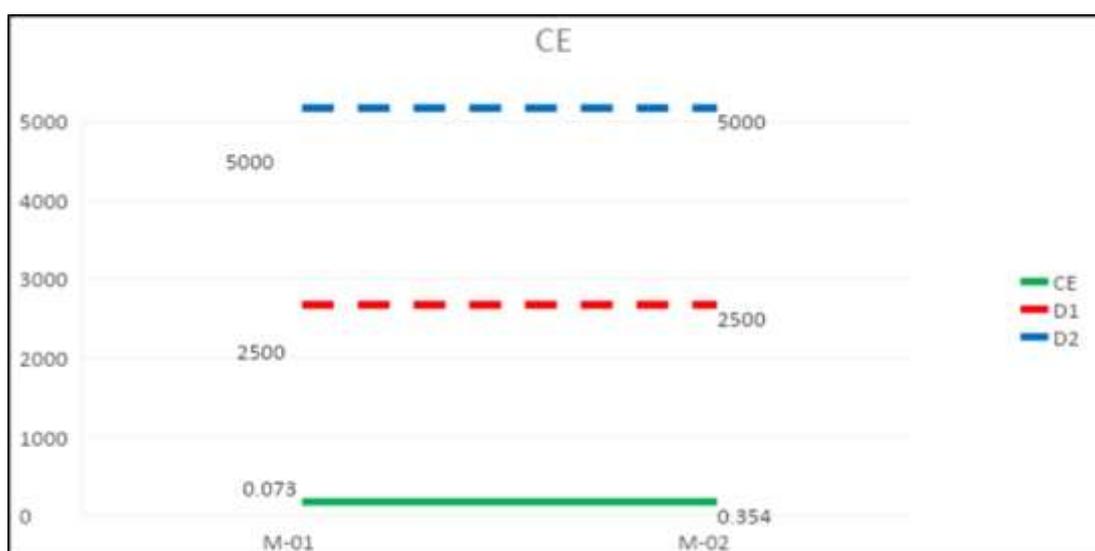
La tabla 14 se realizó haciendo uso de los resultados obtenidos de la muestra 2 de agua del río Challhuahuacho en las instalaciones del laboratorio de agua de los Laboratorios Analíticos del Sur E. I. R. L., en función a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Para Agua. D. S. N.º 015-2015-Minam; encontrándose la presencia de coliformes fecales en  $11 \times 10^3$  NMP/100 mL y no encontrando presencia de huevos de insectos, estos resultados servirán para la comparación con los resultados de la muestra 1 y los ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2 de la metodología de ICA-PE.

**Tabla 15. Análisis de las muestras 1 y 2 y comparado con los ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2**

Comparación de parámetros ECA vs. resultados de muestras						
Ensayos		ECA				
Parámetro	Unidad	LCM	M-01	M-02	D1	D2
Conductividad (CE)	µS/cm		0.073	0.354	2500	5000
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L		6.5	6.5	>=4	>=5
pH	mg/L		8.09	8.13	6.5-8.5	6.5-8.4
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO-5)	mg/L		4	4	15	15
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	<LCM	0.647	5	5
Arsénico (As)	mg/L	0.003	0.0103	<LCM	0.1	0.2
Boro (B)	mg/L	0.021	<LCM	0.0208	1	5
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	0.01	0.05
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	0.2195	<LCM	0.2	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	0.64	0.509	5	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	<LCM	0.0441	0.2	0.2
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	0.05	0.05
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	0.032	<LCM	2	24
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002	0.00049	0.00436	0.5	0.5
(*) Coliformes totales	NMP/ 100 mL	1.8	$79 \times 10^2$	$11 \times 10^3$	1000	1000
(*) Huevos y larvas de helmintos	N.º /L	1	<1	<1	<1	<1

*Nota:* Esta tabla muestra la comparación de los resultados obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3 para las subcategorías D1 y D2

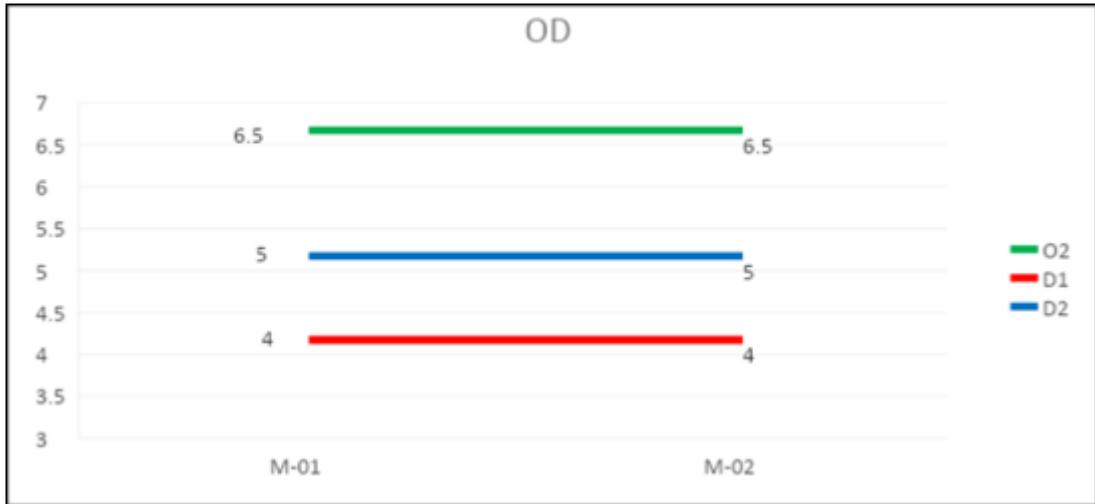
La tabla 15 muestra el análisis de la comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra 1 (que se muestran en las tablas 11 y 12) y los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la muestra 2 (que se muestran en las tablas 13 y 14), obtenidos por el análisis de agua del río Challhuahuacho realizado por el laboratorio de agua de los Laboratorios Analíticos del Sur E. I. R. L., con los parámetros según la categoría 3 para las subcategorías D1 y D2 (agua a ser utilizada en el riego de vegetales y bebida de animales) de la metodología de ICA-PE, en función a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. D. S. N.º 015-2015-Minam.



**Figura 3. Conductividad eléctrica  $\mu\text{S}/\text{cm}$**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de conductividad en microsiemens por centímetro, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

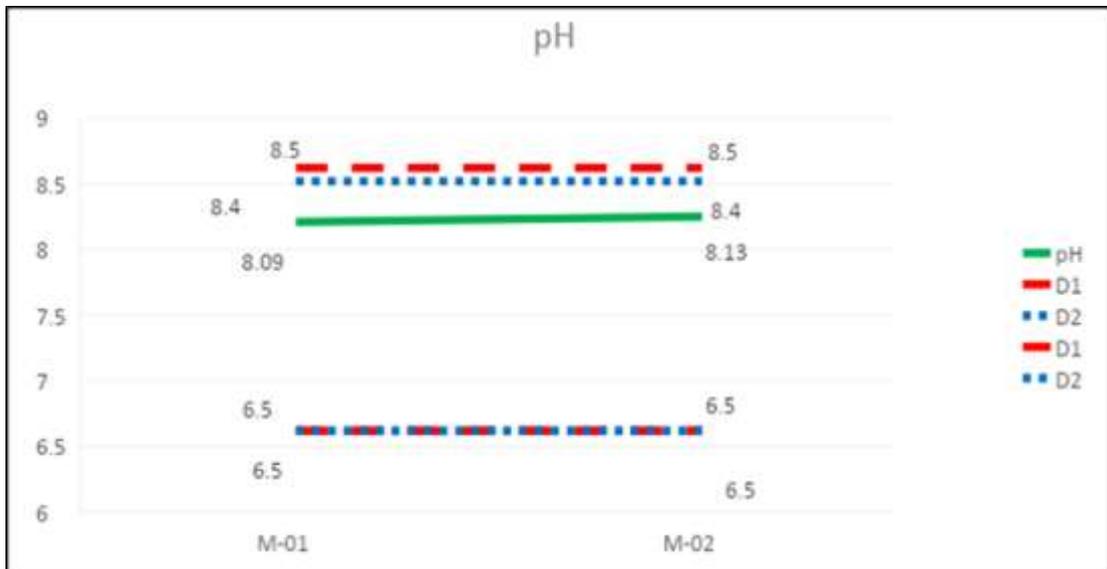
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como valor máximo para la conductividad para la subcategoría D1 y establece 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como valor máximo para la conductividad para la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 0.073  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y M-02 = 0.354  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 4. Oxígeno disuelto mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de oxígeno disuelto en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece  $\geq 4$  mg/L como valor máximo para el oxígeno disuelto para la subcategoría D1 y establece  $\geq 5$  mg/L como valor máximo para el oxígeno disuelto para la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones altas en los dos puntos de monitoreo de M-01=6.5 mg/L y M-02=6.5 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

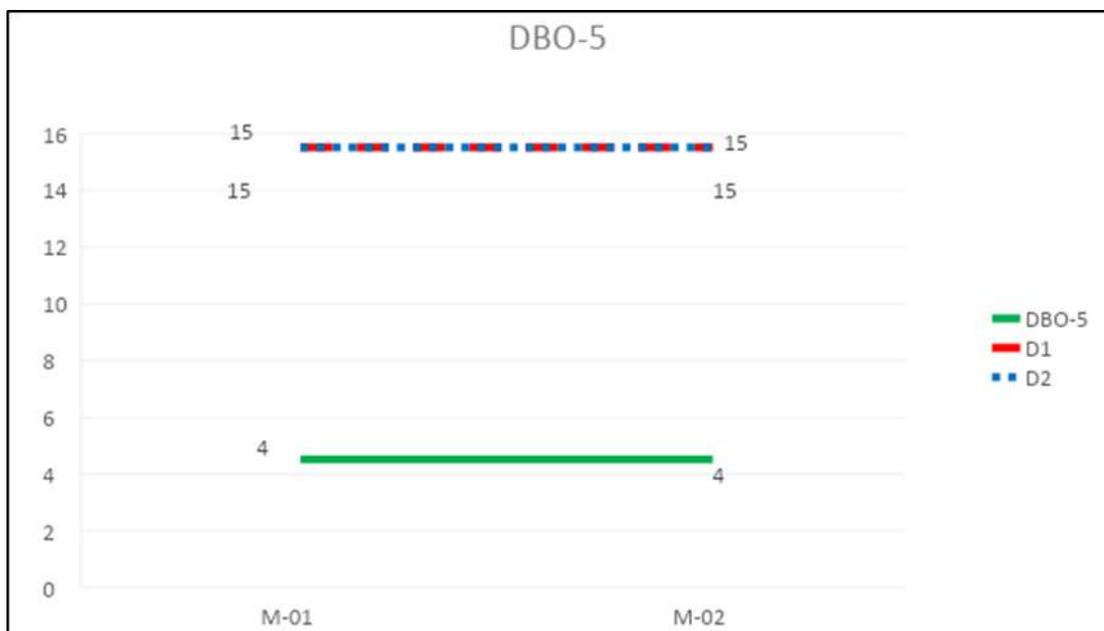


**Figura 5. Potencial de hidrógeno (pH) mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de pH en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece los valores que se encuentran entre 6.5 – 8.5 mg/L como valor mínimo y máximo para el pH para la subcategoría D1 y establece 6.5 – 8.4 mg/L como valor mínimo y máximo para el pH para la subcategoría

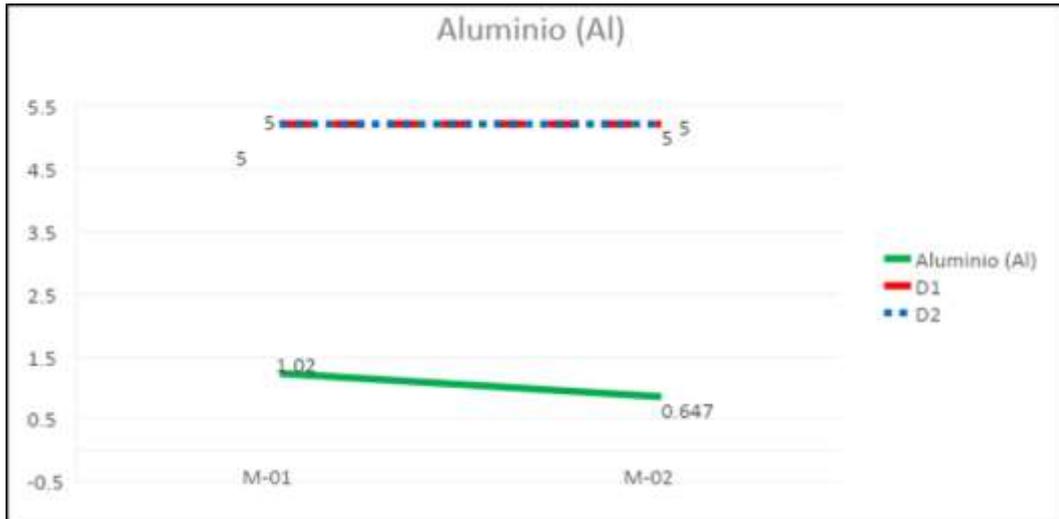
D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 8.09 mg/L y M-02 = 8.13 mg/L, denotando que cumplen con este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 6. Demanda bioquímica de oxígeno mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de demanda bioquímica de oxígeno en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

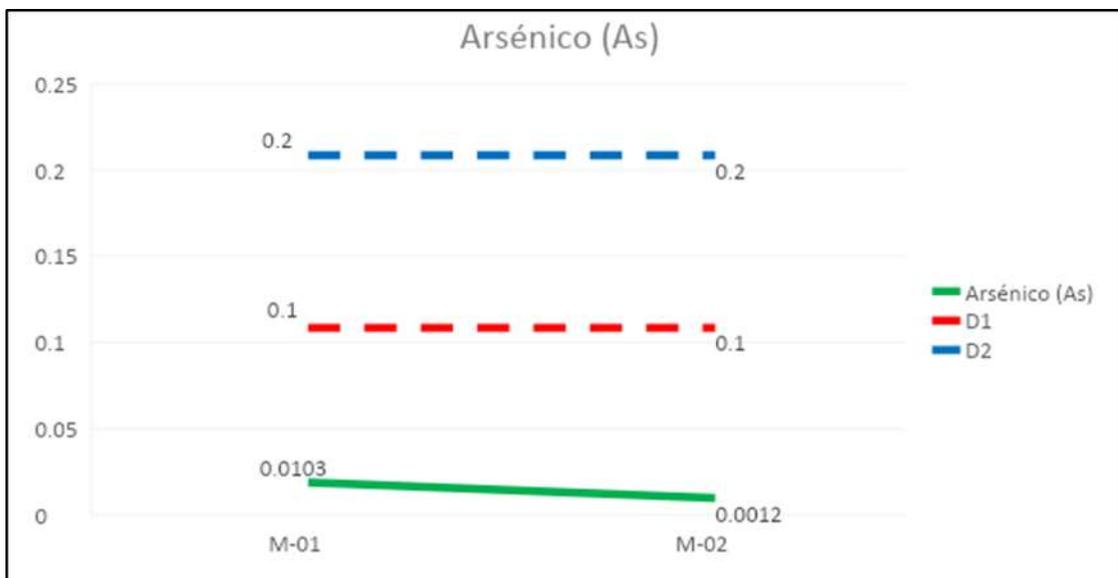
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 15 mg/L como valor máximo para la demanda bioquímica de oxígeno para la subcategoría D1 y establece 15 mg/L como valor máximo para la demanda bioquímica de oxígeno para la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 4 mg/L y M-02 = 4 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 7. Concentración de aluminio mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de aluminio en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 5 mg/L como valor máximo para aluminio para ambas subcategorías. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 1.02 mg/L y M-02 = 0.647 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

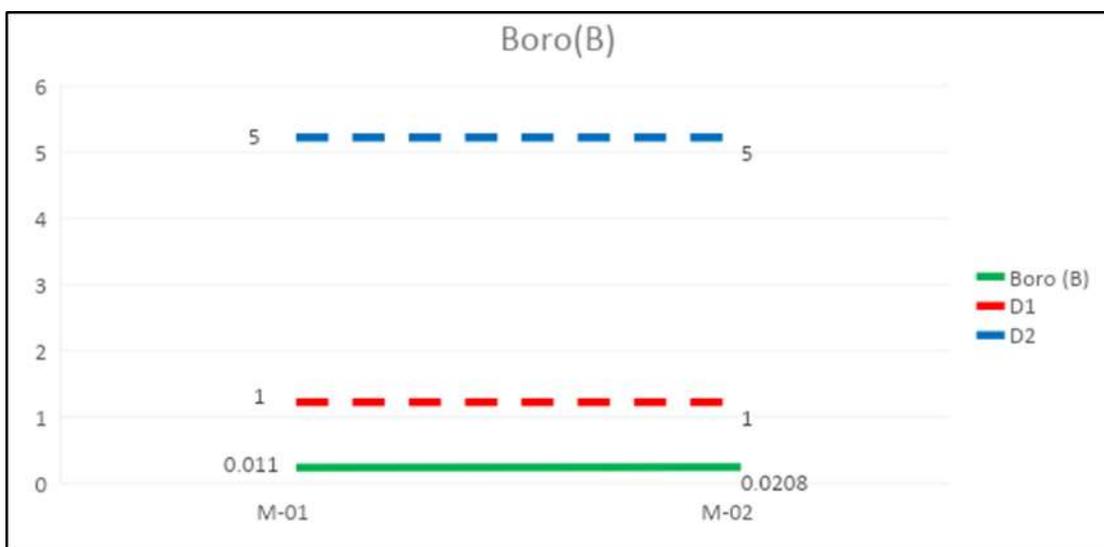


**Figura 8. Concentración de arsénico mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de arsénico en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 0.1 mg/L como valor máximo para arsénico en la subcategoría D1 y establece 0.2 mg/L como valor máximo para arsénico de la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos

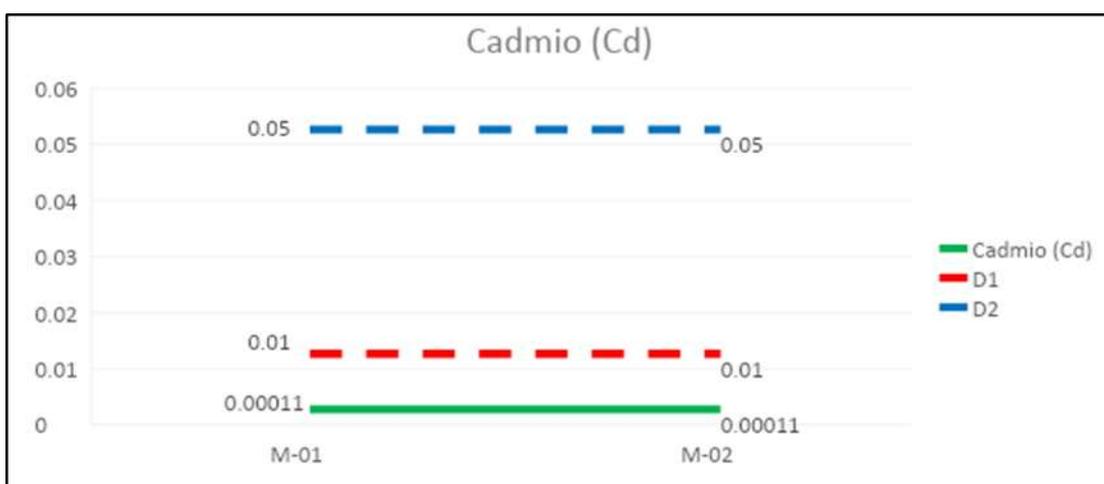
de monitoreo de M-01 = 0.0103 mg/L y M-02 = <0.0012 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 9. Concentración de boro mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de boro en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

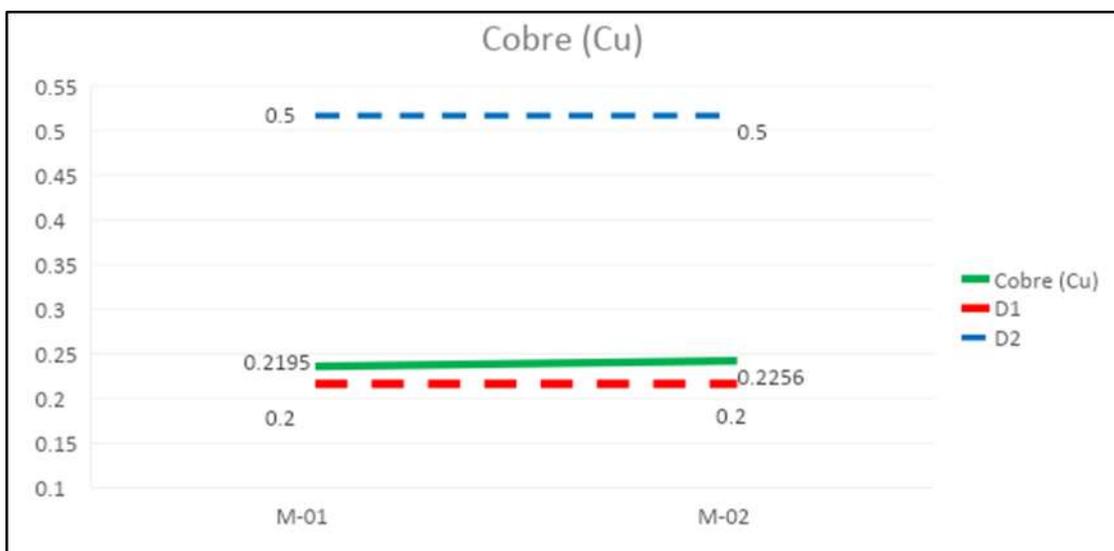
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 1 mg/L como valor máximo para boro en la subcategoría D1 y establece 5 mg/L como valor máximo para boro de la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 0.011 mg/L y M-02 = <0.0208 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 10. Concentración de cadmio mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de cadmio obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

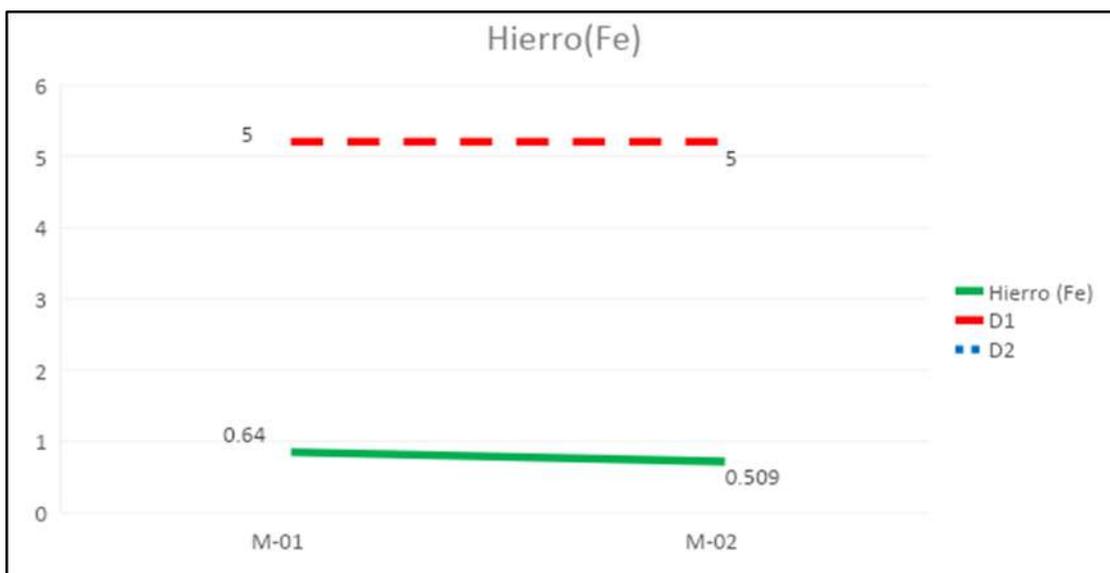
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 0.01 mg/L como valor máximo para cadmio en la subcategoría D1 y establece 0.05 mg/L como valor máximo para cadmio de la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = <0.00011 mg/L y M-02 = <0.00011 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 11. Concentración de cobre mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de cobre en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

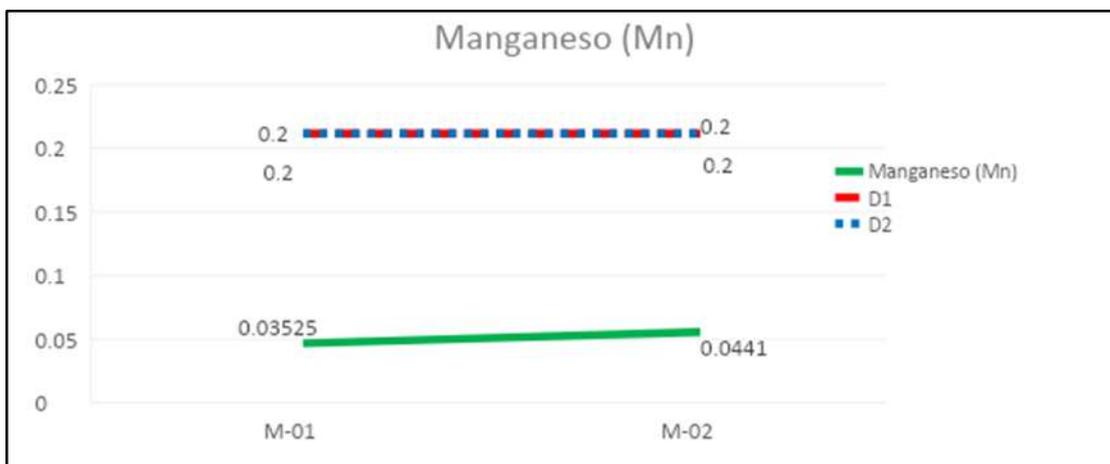
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 0.2 mg/L como valor máximo para cobre en la subcategoría D1 y establece 0.5 mg/L como valor máximo para cobre de la subcategoría D2. Se encontraron las siguientes concentraciones en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 0.2195 mg/L y M-02 = 0.2256 mg/L, denotando que no se cumplió este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1, pero para el parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D2 si se cumple.



**Figura 12. Concentración de hierro mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de hierro en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 5 mg/L como valor máximo para hierro en la subcategoría D1, mientras que para la subcategoría D2 no se establece ningún valor máximo para hierro. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 0.64 mg/L y M-02 = 0.509 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

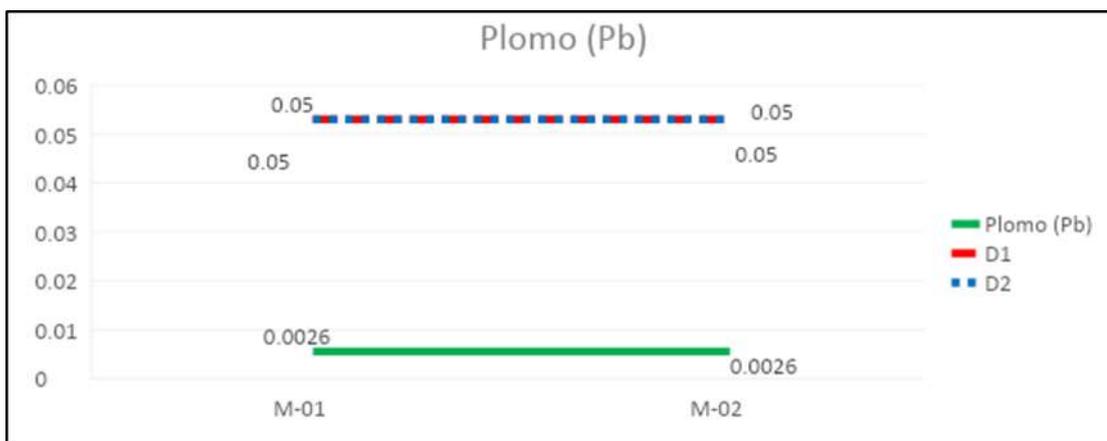


**Figura 13. Concentración de manganeso mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de manganeso en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 0.2 mg/L como valor máximo para manganeso para ambas subcategorías. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 0.03525 mg/L y M-02 = 0.0441 mg/L, denotando el

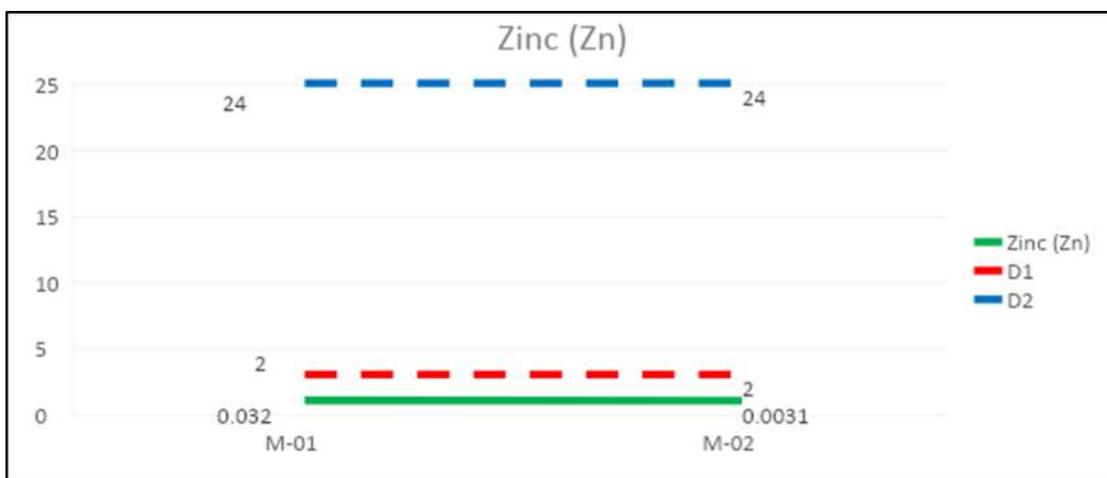
cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 14. Concentración de plomo mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de plomo en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

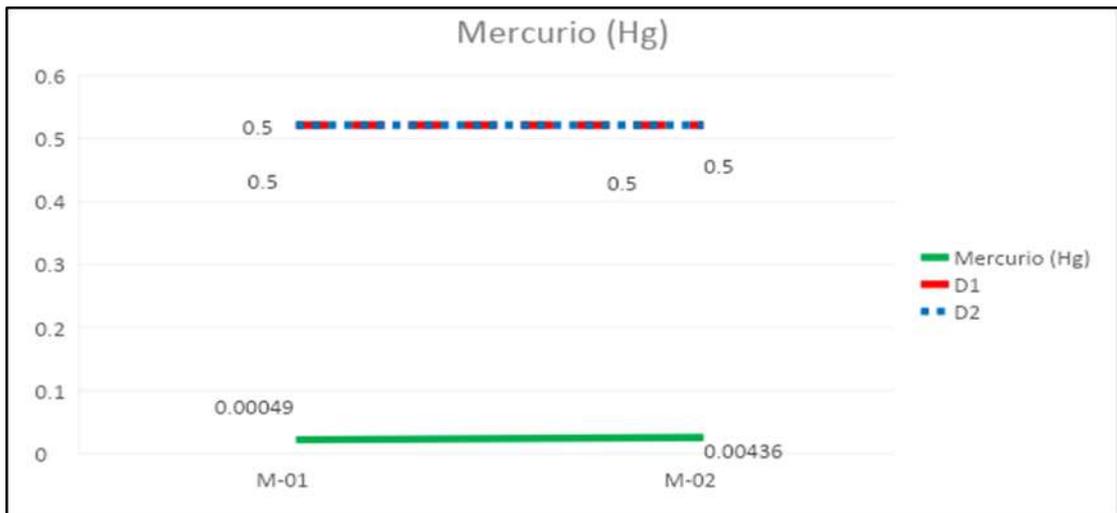
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 0.05 mg/L como valor máximo para plomo para ambas subcategorías. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = <0.0026 mg/L y M-02 = <0.0026 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 15. Concentración de zinc mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de zinc en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

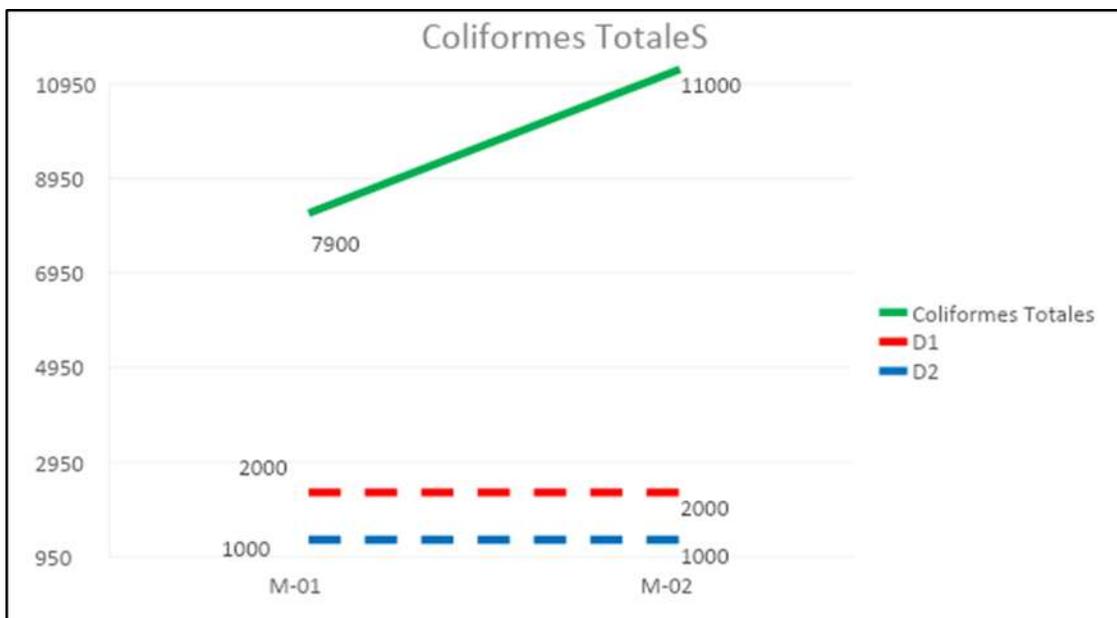
El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 2 mg/L como valor máximo para zinc en la subcategoría D1 y establece 24 mg/L como valor máximo para zinc de la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = <0.032 mg/L y M-02 = <0.0031 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 16. Concentración de mercurio mg/L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de mercurio en miligramos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 0.5 mg/L como valor máximo para mercurio para ambas subcategorías. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = <0.00049 mg/L y M-02 = <0.00436 mg/L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

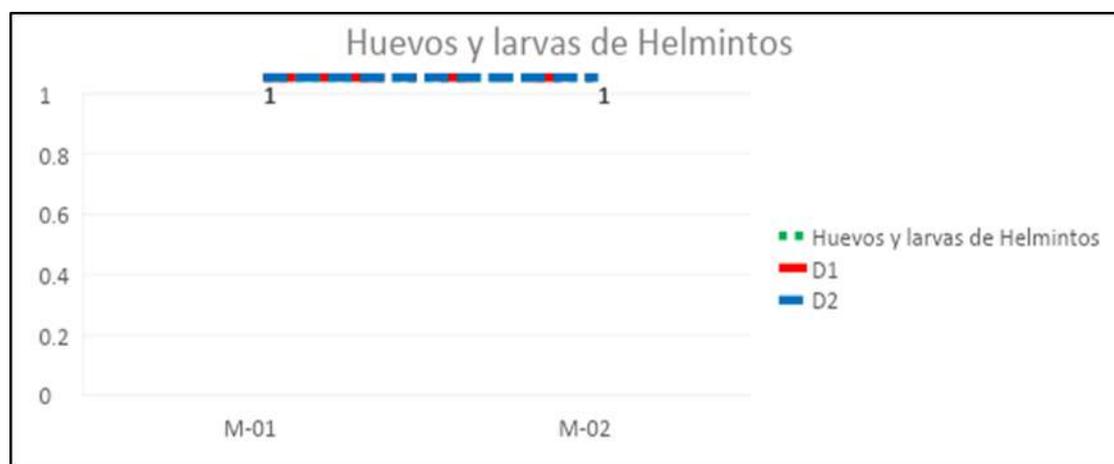


**Figura 17. Concentración de coliformes fecales NMP/ 100mL**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de coliformes fecales en número más probable por cada 100 mililitros de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece 1000 NMP/ 100 mL como valor máximo para coliformes fecales en la subcategoría D1 y establece 2000 NMP/

100mL como valor máximo para coliformes fecales de la subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy altas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 7,900 NMP/ 100 mL y M-02 = 11,000 NMP/ 100 mL, denotando el incumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.



**Figura 18. Concentración de huevos y larvas de helmintos N./L**

*Nota:* La imagen muestra la comparación de los resultados de concentración de huevos y larvas de helmintos por litro de agua, obtenidos de las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 15

El ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 y D2 establece <1 N./L como valor máximo para huevos y larvas de helmintos para ambas subcategorías. Se encontraron concentraciones iguales al valor máximo en los dos puntos de monitoreo de M-01 = <1 N./L y M-02 = <1 N./L, denotando el cumplimiento de este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2.

#### 4.2. Calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho departamento de Apurímac.

**Tabla 16. Cálculo de excedentes, factores y valor final del ICA-PE, del ECA categoría 3, subcategoría D1 primer y segundo monitoreo**

Ensayos		ECA	Valores		Excedentes	
Parámetro	Unidad	D1	M-01	M-02	M-01	M-02
CE	mS/cm	2500	0.073	0.354		
O2	mg/L	≥4	6.5	6.5	-2.5	-2.5
pH	mg/L	6.5-8.5	8.09	8.13	-1.59	-1.63
DBO-5	mg/L	15	4	4	11	11
Aluminio (Al)	mg/L	5	1.02	0.647	3.98	4.353
Arsénico (As)	mg/L	0.1	0.0103	0.0012	0.09	0.099
Boro (B)	mg/L	1	0.011	0.0208	0.989	0.979
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.00011	0.00011	0.01	0.01
Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.2195	0.2256	-0.02	-0.03

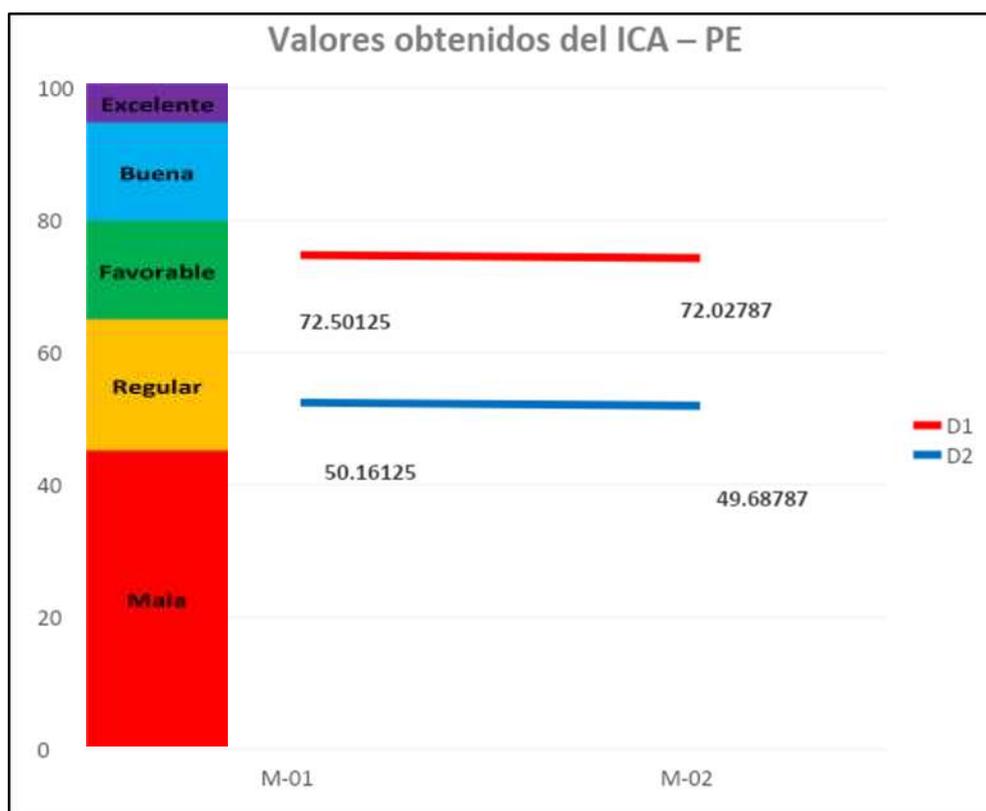
Hierro (Fe)	mg/L	5	0.64	0.509	4.36	4.491
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.03525	0.0441	0.165	0.156
Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.0026	0.0026	0.047	0.047
Zinc (Zn)	mg/L	2	0.032	0.0031	1.968	1.997
Mercurio (Hg)	mg/L	0.5	0.00049	0.00436	0.5	0.496
Coliformes totales	NMP/ 100 mL	2000	7900	11000		
Huevos y larvas de helmintos	N.º /L	<1	<1	<1		
Sumatoria de excedentes					27.5	27.97
ICA - PE					72.5	72.028

*Nota:* Esta tabla muestra los valores ECA categoría 3, subcategoría D1 y los valores de las muestras 01 y muestra 02 con sus correspondientes excedentes, además de los resultados de la sumatoria de excedentes y los resultados del ICA-PE obtenidos para las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3 para la subcategoría D1

**Tabla 17.** Cálculo de Excedentes, factores y valor final del ICA-PE, del ECA categoría 3, subcategoría D2 primer y segundo monitoreo.

Ensayos		ECA	Valores		Excedentes	
Parámetro	Unidad	D2	M-01	M-02	M-01	M-02
CE	mS/cm	5000	0.073	0.354		
O2	mg/L	≥5	6.5	6.5	-1.5	-1.5
pH	mg/L	6.5-8.4	8.09	8.13	-1.59	-1.63
DBO-5	mg/L	15	4	4	8.4	8.4
Aluminio (Al)	mg/L	15	1.02	0.647	11	11
Arsénico (As)	mg/L	5	0.0103	0.0012	3.98	4.353
Boro (B)	mg/L	0.2	0.011	0.0208	0.19	0.199
Cadmio (Cd)	mg/L	5	0.00011	0.00011	4.989	4.979
Cobre (Cu)	mg/L	0.05	0.2195	0.2256	0.05	0.05
Hierro (Fe)	mg/L	0.5	0.64	0.509	0.281	0.274
Manganeso (Mn)	mg/L		0.03525	0.0441	-0.64	-0.51
Plomo (Pb)	mg/L	0.2	0.0026	0.0026	0.165	0.156
Zinc (Zn)	mg/L	0.05	0.032	0.0031	0.047	0.047
Mercurio (Hg)	mg/L	24	0.00049	0.00436	23.97	24
Coliformes totales	NMP/ 100 mL	0.5	7900	11000		
Huevos y larvas de helmintos	N.º /L	<1	<1	<1		
Sumatoria de excedentes					49.84	50.31
ICA - PE					50.161	49.6879

*Nota:* Esta tabla muestra los valores ECA categoría 3, subcategoría D2 y los valores de las muestras 01 y muestra 02 con sus correspondientes excedentes, además de los resultados de la sumatoria de excedentes y los resultados del ICA-PE obtenidos para las dos muestras con los parámetros ECA categoría 3 para la subcategoría D2



**Figura 19. Valores obtenidos del ICA – PE**

*Nota:* La imagen muestra los resultados calculados con lo establecido por el ICA-PE para el ECA categoría 3, subcategorías D1 y D2. Tabla 2

Se obtuvo como resultado que, para las dos muestras la calidad de agua según el ICA – PE es favorable, con un valor de 72.50125 para la muestra 1 y 72.02787 para la muestra 2 que corresponde al ECA para agua categoría 3, subcategoría D1 (agua a ser utilizada en el riego de vegetales) por otro lado, la calidad de agua según el ICA – PE es regular, con un valor de 50.16125 para la muestra 1 y 49.68787 para la muestra 2 que corresponde al ECA para agua categoría 3, subcategoría D2 (agua a ser utilizada para ser bebida de animales).

#### 4.3. Índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho departamento de Apurímac

**Tabla 18. Resultados del análisis de límites máximos permisibles – muestra 1**

Código Interno: AG22000033		Nombre de muestra: Muestra 1				
Método	Unidad de medida	Resultado	Incertidumbre	Especificación	Evaluación de la conformidad	
<b>Fisicoquímico</b>					<b>%</b>	
808	pH	Unidad de pH	8.09	0.033	6 a 9	100.00 Aceptado
<b>Inorgánico</b>						
796	Arsénico	mg/L	0.0103	0.0018	≤ 0.1	100.00 Aceptado
800	Mercurio	mg/L	0.00049	0.00041	≤ 0.002	100.00 Aceptado
802	Plomo	mg/L	< 0.0026	0.00059	≤ 0.2	100.00 Aceptado

802	Zinc	mg/L	< 0.0031	0.0018	≤ 1.5	100.00	Aceptado
802	Cadmio	mg/L	< 0.00011	0.00024	≤ 0.05	100.00	Aceptado
802	Fierro	mg/L	0.640	0.015	≤ 2	100.00	Aceptado
802	Cobre	mg/L	0.2195	0.0066	≤ 0.5	100.00	Aceptado

**Microbiológicos y parasitológicos**

871	Coliformes total	NMP/ 100 mL	79×10 <sup>2</sup>	N.A.	≤ 1500	N. A.	Rechazado
-----	------------------	-------------	--------------------	------	--------	-------	-----------

*Nota:* En la tabla se muestra los límites máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades mineras-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente los parámetros tomados de la muestra 01. Laboratorios Analíticos del Sur LAS01-AG-AC-22-00017 SEGÚN el Comité Conjunto para las Guías en Metrología 106.

En la tabla 18 se muestran que los parámetros obtenidos en el presente ensayo están acreditados por el marco de la acreditación de La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad (Inacal-DA), encontrándose dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes del IAAC e ILAC.

Los resultados de la cantidad de coliformes totales en número más probable por cada 100 mililitros de agua de 79 x 10 siendo mayor a lo permisible de ≤ 1500 NMP/ 100 mL; siendo este nivel rechazado por presentar un valor por encima de los niveles máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º 010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente, de los parámetros tomados de la muestra 1.

**Tabla 19. Resultados del análisis de límites máximos permisibles - muestra 02.**

Código interno: AG22000034		Nombre de muestra: muestra 2				
Método	Unidad de medida	Resultado	Incertidumbre	Especificación	Evaluación de la conformidad	
<b>Físico químico</b>						<b>%</b>
*807	Conductividad eléctrica	mS/cm	354.000	8.6000	≤ 1500	100.00 Aceptado
808	pH	Unidad de pH	8.13	0.086	6.5 a 8.5	100.00 Aceptado
*841	Oxígeno Disuelto	mg/L	6.5	0.12	≥ 6	100.00 Aceptado
859	Bioquímica de oxígeno	mg/L	4	0.14	≤ 3	0.00 Rechazado
<b>Inorgánico</b>						
796	Arsénico	mg/L	< 0.0012	0.0011	≤ 0.01	100.00 Aceptado
800	Mercurio	mg/L	0.00436	0.00053	≤ 0.001	0.00 Rechazado
802	Cadmio	mg/L	< 0.00011	0.00023	≤ 0.003	100.00 Aceptado
802	Boro	mg/L	0.0208	0.00048	≤ 2.4	100.00 Aceptado
802	Cobre	mg/L	0.2256	0.0075	≤ 2	100.00 Aceptado
802	Fierro	mg/L	0.5090	0.023	≤ 0.3	0.00 Rechazado
802	Manganeso	mg/L	0.04410	0.0031	≤ 0.4	100.00 Aceptado

802	Zinc	mg/L	< 0.0031	0.00093	≤ 3	100.00	Aceptado
802	Aluminio	mg/L	0.674	0.085	≤ 0.9	100.00	Aceptado
802	Plomo	mg/L	< 0.0026	0.00043	≤ 0.01	100.00	Aceptado

#### **Microbiológicos y parasitológicos**

871	Coliformes total	NMP/100 mL	11X10 <sup>3</sup>	N.A.	≤ 1500	N.A.	Rechazado
-----	------------------	------------	--------------------	------	--------	------	-----------

*Nota:* En la tabla se muestra los límites máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades mineras-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º 010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente los parámetros tomados de la muestra 02. Laboratorios Analíticos del Sur LAS01-AG-AC-22-00017 SEGÚN el Comité Conjunto para las Guías en Metrología 106.

En la tabla 19 se muestra que los parámetros obtenidos en el presente ensayo están acreditados por el marco de la acreditación del Inacal-DA, encontrándose dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes del IAAC e ILAC.

Los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno es de 4 miligramos por litro de agua siendo mayor a lo permisible de ≤ 3 mg/L, el nivel de mercurio es de 0.00436 miligramos por litro de agua siendo mayor a lo permisible de ≤ 0.001 mg/L, el nivel de hierro es de 0.5090 miligramos por litro de agua siendo mayor a lo permisible de ≤ 0.3 mg/L y la cantidad de coliformes totales en número más probable por cada 100 mililitros de agua de 11x10<sup>3</sup> siendo mayor a lo permisible de ≤ 1500 NMP/ 100mL; siendo estos cuatro niveles rechazados por presentar valores por encima de los niveles máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º 010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente, de los parámetros tomados de la muestra 2.

#### **4.4. Discusión de resultados**

En la presente investigación, se obtuvo como resultado para la calidad de agua según el ICA – PE es favorable para agua categoría 3, subcategoría D1 (agua utilizada en el riego de vegetales) y es regular para agua categoría 3, subcategoría D2 (agua utilizada para ser bebida de animales). Mientras que para Martínez y Barreto [16], en la evaluación de la calidad del agua y la elaboración de una estrategia de uso y conservación de la microcuenca, realizó un trabajo del tipo investigativo analítico y explicativo encontrando un bajo nivel de interferencia antrópica, lo que se refleja en la calidad de líquido del cuerpo de agua.

Estos resultados se obtuvieron como resultado de parámetros de análisis con función en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Para Agua. D. S. N.º 015-2015-Minam de acuerdo a su uso como categoría 3: subcategoría D1 aguas para riego de vegetales de consumo crudo y subcategoría D2 bebedero de animales, mientras que Arévalo y Castillo [17], en su propuesta de indicadores de calidad de agua muestra un estudio descriptivo, dio como resultado que se creó la propuesta del indicador teniendo en cuenta las limitaciones actuales, la calidad

del agua de cauces de ríos en el país, teniendo en cuenta las propiedades hidroquímicas naturales, tomaron en cuenta estándares y criterios de calidad nacionales e internacionales según el ICA Global, teniendo en cuenta tanto su calidad natural (ICA natural) como su uso potencial como fuente de agua potable (ICA agua potable) y riego (ICA riego).

Por otro lado, para Cahoy y López [10], quienes evaluaron el ICA, realizando un análisis espacio-temporal del índice de calidad del agua a través de un muestreo y monitoreando los parámetros fisicoquímicos en cuatro puntos de tiempo diferentes, se obtuvo una valoración de pobre para el ICA-CWQI que permite la toma de decisiones inmediata y el CWQI es ideal para estudios de evaluación espacio-temporal.

Mientras que para Hilario y Mamani [19], quienes lograron ver la variación del índice de calidad del agua ICA-PE y esta variabilidad tiende a disminuir de buena calidad a consistentemente buena calidad, posiblemente debido a los pasivos y la actividad mineros.

Así mismo, para Cisneros [20], logró realizar la evaluación de la calidad del agua para consumo humano, sus resultados mostraron las calidades del agua destinada al consumo humano para velar por la mejora de la salud pública.

Los resultados obtenidos para el pH subcategoría D2. Se encontraron concentraciones muy bajas en los dos puntos de monitoreo de M-01 = 8.09 mg/L y M-02 = 8.13 mg/L, denotando que no cumplen con este parámetro con el ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2. Mientras que Jiménez y Llico [18], obtuvieron en su evaluación de la calidad del agua con la aplicación del índice de calidad ambiental del agua, con sus resultados logró superar parámetros fisicoquímicos establecidos por la ETO – agua, para el pH en sus 3 muestreos de M1 = 4.5; M2 = 4.03; M3 = 4.3; llegando a concluir que para el primer punto de muestreo se logra una buena calidad del agua, segundo análisis ningún parámetro supera a ECA – agua.

Así mismo, Choque [21], logra determinar el ICA bajo el método DELPHI, utilizando la metodología APHA; La fórmula ICA Altoandino se calculó como una ecuación ponderada con un rango de calidad basado en la escala NSF – 2006, se seleccionaron 20 parámetros fisicoquímicos de los que el pH, conductividad y metales como son el plomo, cromo, zinc y hierro; materia orgánica con la demanda química de oxígeno, demanda de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes y coliformes totales; logrando resultados para la calidad fisicoquímica con un peso de 0.3, para la calidad de los metales con un peso de 0.3 y para la calidad de la materia orgánica con un peso de 0.4; obteniendo un ICA de Excelente a Media y varía de Excelente a Mala en época de precipitación.

Mientras que para Aguilar y Navarro [23], la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano les dio parámetros físicos como el pH, según el reglamento de calidad de agua para consumo humano del Minam, sus resultados fueron para pH es de  $7.78 \pm 4.0$  muy parecidos a los presentados aquí.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación para la Conductividad eléctrica fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $0.073 \mu\text{S}/\text{cm}$  y M-02 =  $0.354 \mu\text{S}/\text{cm}$ , para oxígeno disuelto fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $6.5 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $6.5 \text{ mg}/\text{L}$ , para la demanda bioquímica de oxígeno fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $4 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $4 \text{ mg}/\text{L}$ , para aluminio fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $1.02 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $0.647 \text{ mg}/\text{L}$ , para arsénico fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $0.0103 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $<0.0012 \text{ mg}/\text{L}$ , para boro fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $0.011 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $<0.0208 \text{ mg}/\text{L}$ , para cadmio fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $<0.00011 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $<0.00011 \text{ mg}/\text{L}$ , para cobre se encontraron las siguientes concentraciones de M-01 =  $0.2195 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $0.2256 \text{ mg}/\text{L}$ , no cumpliendo para la subcategoría D1 y cumpliendo para la subcategoría D2, para hierro no se establece ningún valor máximo siendo muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $0.64 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $0.509 \text{ mg}/\text{L}$ , para manganeso fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $0.03525 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $0.0441 \text{ mg}/\text{L}$ , para plomo fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $<0.0026 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $<0.0026 \text{ mg}/\text{L}$ , para zinc fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $<0.032 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $<0.0031 \text{ mg}/\text{L}$ , para mercurio fueron muy bajas en los dos puntos de monitoreo con M-01 =  $<0.00049 \text{ mg}/\text{L}$  y M-02 =  $<0.00436 \text{ mg}/\text{L}$ , para los coliformes fecales fueron muy altas en los dos puntos de monitoreo de M-01 =  $7,900 \text{ NMP}/100\text{mL}$  y M-02 =  $11,000 \text{ NMP}/100\text{mL}$  y para los huevos y larvas de helmintos fueron valores de M-01 =  $<1 \text{ N.}^\circ/\text{L}$  y M-02 =  $<1 \text{ N.}^\circ/\text{L}$ . Mientras que Zevallos [22], evalúa la calidad del agua bioacumulación de metales pesados, las muestras de agua para el análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno, metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio, plomo y zinc; así como todas las bacterias coliformes, las concentraciones de bacterias coliformes termotolerantes y las concentraciones de metales pesados en el agua del río Challhuahuacho no amenazan el equilibrio del ecosistema acuático.

Mientras que para Aguilar y Navarro [23], la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano, les dio parámetros físicos como conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales; determinar parámetros químicos como la determinación de parámetros

bacteriológicos tales como: bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales, según el reglamento de calidad de agua para consumo humano del Minam, sus resultados fueron para conductividad eléctrica es de  $138.12 \pm 4.1$  y magnesio de  $4.74 \pm 9.8$ .

## **CONCLUSIONES**

- Se evaluó la calidad del agua del río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE, según los niveles máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de

actividades minero-metalúrgicas según el Decreto Supremo N.º 010-2010 del Ministerio del Medio Ambiente.

- Se analizó las características fisicoquímicas de la cuenca del agua del río Chalhuhhuacho de dos muestras, observando la presencia de conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), oxígeno disuelto, pH, temperatura. Se analizó la concentración de los parámetros químicos de aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc. Además de analizar los parámetros microbiológicos conformados por las sustancias coliformes totales existentes, encontrando concentraciones muy bajas para la mayor parte de características fisicoquímicas, por otro lado, se observó que la concentración de oxígeno disuelto y coliformes fecales fue muy alta, y una concentración de cobre mayor para la categoría 3, subcategoría D1.
- Se determinó el índice de calidad fisicoquímica para la cuenca de Chalhuhhuacho, que según la CCME\_WQI (*Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index*) reporta que el agua que será utilizada para el riego de vegetales es de calidad favorable, al obtener valores de 72.50125 y 72.02787 que se encuentran dentro de los parámetros del reporte simplificado de 65 a 79, posee una calidad de agua natural ocasionalmente amenazada; mientras que el agua recolectada de las mismas dos ubicaciones y que será utilizada para la ingesta de los animales es de una calidad regular, al obtener valores de 50.16125 y 49.68787 que se encuentran dentro de los parámetros del reporte simplificado de 45 a 64, reporta una calidad de agua natural que no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas, muchos de los usos necesitan tratamiento.
- Se determinó el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Chalhuhhuacho, y según el D. S. N.º 010-2010-Minam para los niveles máximos permisibles para las descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, siendo rechazada la muestra 1 por la cantidad de coliformes totales, por otro lado, fue rechazada la muestra 2 para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el nivel de mercurio, el nivel de hierro y la cantidad de coliformes totales, por estar por encima de los límites máximos permisibles.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que el agua de la cuenca del río Chalhuhhuacho que se encuentra entre las dos ubicaciones de las muestras sea utilizado para el riego de vegetales o uso agrícola,

- mientras que para el uso pecuario se recomienda tener un poco de cuidado a la ingesta de los animales y llevar un control más continuo de cualquier anomalía suscitada en estos.
2. Se recomienda en trabajos posteriores realizar un número mayor de muestras en ubicaciones más distantes, para tener un mejor análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Challhuahuacho.
  3. Se recomienda que para mejorar el índice de calidad fisicoquímica del agua de la cuenca del río Challhuahuacho, se deben seguir prácticas de manejo sanitario, planes de manejo ambiental y la construcción de una planta de tratamiento de aguas servidas.
  4. Mantener campañas de manejo de residuos sólidos, manejo de aguas residuales y otras medidas adicionales que ayuden a mantener dentro del ámbito de reconocimiento mutuo el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de río Challhuahuacho.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **Autoridad Nacional del Agua.** *R.J.\_010-2016-Ana\_0.Pdf* [en línea]. Perú: ANA, 2017 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:

- [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_010-2016-ana\\_0.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf)
2. **QUILLE, S.** *Alternativas de gestión de aguas residuales en la caleta de Catarindo*. Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
  3. **LEKSHMIPRASAD, S.; MOPHIN, K.** *Water Quality Assessment of Ashtamudi Lake Using Nsfwqi* [en línea]. India: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2017 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: [https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Water+Quality+Assessment+Of+Ashtamudi+Lake+Using+Nsfwqi+International+Journal+of+Emerging+Technology+and+Advanced+Engineering&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Water+Quality+Assessment+Of+Ashtamudi+Lake+Using+Nsfwqi+International+Journal+of+Emerging+Technology+and+Advanced+Engineering&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart)
  4. **CHÁVEZ, M.** *Los pasivos ambientales mineros: diagnóstico y propuestas*. Perú: Red Muqui, 2015.
  5. **Municipalidad Distrital de Crucero.** *Plan de Desarrollo Concertado al 2021 de la Municipalidad Distrital de Crucero, provincia de Carabaya, departamento de Puno*. Perú: MDC, 2014.
  6. **AUCALLA, A.** *Informe de Práctica Pre Profesional Evaluación de la Calidad del Agua del Río Oro y Quebrada Quinceañera del Parque Nacional Tingo María*. Perú: Universidad Nacional Agraria De La Selva, 2019.
  7. **GIL, J.; VIZCAINO, C.; MONTAÑO, N.** *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el ICA. Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela* [en línea]. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017 [fecha de consulta: 04 enero 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>
  8. **AGUIRRE, M.; VANEGAS, E.; GARCÍA, N.** Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Científica de Tecnologías Agronómicas* [en línea]. 2016, 25(2), pp.39-43. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2071-00542016000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542016000200006)
  9. **CEDEÑO, L.** (2016). *Evaluación de la calidad de agua potable mediante el índice de calidad de agua (ICA), del recinto Chiritza, parroquia Pacayacu, provincia de Sucumbíos* [en línea]. Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2016 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14987>
  10. **CAHO, C.; LÓPEZ, E.** Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Corporación Universitaria Lasallista* [en línea]. 2017, 12(2), pp.35-49. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6307154>
  11. **CHÁVEZ, L.** *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla*. México: Universidad Veracruzana, Poza Rica Tuxpan. 2015.

12. **AGUIRRE, M.** La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista virtual REDESMA*, [en línea]. 2011, 5(1). [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/cuencas\\_m\\_aguirre.pdf](http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/cuencas_m_aguirre.pdf)
13. **GUERRERO, A.** Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú. *Revista científica de la facultad de Ciencias Biológicas*, [en línea]. 2015, 35(2), pp.5-8. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/view/1071/999>
14. **CÓRDOVA, M.** *Calidad del agua de la microcuenca del río Challhuahuacho comparado con los estándares de calidad ambiental para riego y bebedero (ECA3) en la zona de Challhuahuacho, Cotabambas – Apurímac - 2016*. [en línea]. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1414/T016\\_46009403\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1414/T016_46009403_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
15. **PALOMINO, P.** *Evaluación de la calidad del agua del río Mashcón, Cajamarca 2016*. [en línea]. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. pp. 299-307. Disponible en:  
<https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1242>
16. **MARTÍNEZ, S.; BARRERO, I.** *Evaluación de las condiciones de calidad del agua, para la formulación de estrategias de aprovechamiento y conservación de la microcuenca Quebrada la Argentina, Villavicencio – Meta*. [en línea]. Argentina: Universidad Santo Tomás, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. 151(2), pp.10–17. Disponible en:  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12064/2018santiagomartinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
17. **ARÉVALO, M.; CASTILLO, J.** *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile*. [en línea]. Chile: Universidad de Chile, 2012 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia\\_tq.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
18. **JIMENEZ, J.; LLICO, M.** *Evaluación de la calidad del agua en el río Muyoc, aplicando el índice de calidad ambiental para agua. Cajamarca 2019*. [en línea]. Perú: Universidad Privada del Norte, 2020 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23984#:~:text=Los%20resultados%20de%20la%20evaluaci%C3%B3n,establecidos%20por%20del%20ECA%20%E2%80%93%20Agua.>

19. **HILARIO, M.; MAMANI, L.** *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 período 2015-2018.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1babbeb2-9b09-481f-a117-1116cdc3f358/content>
20. **CISNEROS, R.** *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en Comas (Lima), Quispicanchi (Cusco) y Coronel Portillo (Ucayali) durante el 2017.* [en línea]. Perú: Universidad Ricardo Palma, 2019 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. p. 112. Disponible en:  
[https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2652/T030\\_75930333\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2652/T030_75930333_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
21. **CHOQUE, D.** *Formulación de un índice de calidad de agua (ICA) para un río altoandino a través del método DELPHI: caso río de la microcuenca del Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú, 2019.* [en línea]. Perú: Universidad Andina del Cusco, 2020 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3563/RESUMEN%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
22. **ZEVALLOS, S.** *Calidad de agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en Challhuahuacho, Apurímac.* [en línea]. Perú: Universidad Cayetano Heredia, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/3645/Calidad\\_ZevallosDeLaTorre\\_Samanta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/3645/Calidad_ZevallosDeLaTorre_Samanta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
23. **AGUILAR, O.; NAVARRO, B.** *Evaluación de la calidad de agua para consumo Humano de la comunidad de Llañucancha del distrito de Abancay, provincia de Abancay 2017.* [en línea]. Perú: Universidad Tecnológica de los Andes, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/130/3/Tesis-Evaluaci%20c3%b3n%20de%20la%20calidad%20de%20agua%20para%20consumo%20humano.pdf>
24. **ATENCIO, H.** *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de la localidad de San Antonio de Rancas, del distrito de Simón Bolívar, provincia y región Pasco – 2018.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/428/1/T026\\_70776177\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/428/1/T026_70776177_T.pdf)
25. **MENA, M.** *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile.* Chile: Universidad de Chile, 2012.

26. **TEVÉS, B.** *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del Rio Cakra, región Lima.* [en línea]. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6797/TEVES\\_AGUIRRE\\_BETTY\\_ESTUDIO\\_FISICOQUIMICO\\_AGUA\\_RIO\\_CACRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6797/TEVES_AGUIRRE_BETTY_ESTUDIO_FISICOQUIMICO_AGUA_RIO_CACRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
27. **DELGADO, F.** *Diagnóstico de la calidad del agua y diseño de propuesta de solución para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA) en el río Colca.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11174/UPdemafo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. **MANRIQUE, E.** *Valores, determinación y comparación de las, normas.* [en línea]. Perú: Universidad Católica de Santa María, 2017 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6823>
29. **ROMERO J.** *Calidad de aguas.* España: Nomos, 1998.
30. **MARÍN, J.** *Calidad del agua de la laguna Yarinacocha para uso recreacional.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2012 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/unas/1083/ts\\_cjml\\_2012.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/unas/1083/ts_cjml_2012.pdf?sequence=1&isallowed=y)
31. **TERRONES, E.** *Influencia del tiempo de ebullición en los parámetros fisicoquímicos en las aguas subterráneas de consumo humano en el Distrito de Cajamarca.* [en línea]. Perú: Universidad Privada del Norte, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21542/Terrones%20Ter%c3%a1n%20Elizabeth%20Roc%3%ado%20-%20Morales%20Goicochea%20Walter.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
32. **Agencia de Protección Ambiental.** *Programa de conservación de agua Watersense.* [en línea]. USA: EPA, 2015 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
[https://www.epa.gov/watersense/our\\_water/como.html](https://www.epa.gov/watersense/our_water/como.html)
33. **FLORES, H.** *Análisis de indicadores de contaminación bacteriológica (Coliformes totales y termotolerantes) en el lago de Moronacocha.* [en línea]. Perú: Universidad Científica del Perú, 2017 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/274/SOTIL-1-Trabajo-An%c3%a1lisis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

34. **RÍOS, S.; AGUDELO, R.; GUTIÉRREZ, L.** Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública* [en línea]. 2017, 35(2), pp.236-247. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>
35. **CASTILLO, G.** Microbiología de Aguas, Tema I: Agua y Salud. Programa de Diplomado en Contaminación Ambiental. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2004. *Guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Santiago, Chile.* [en línea]. 2008, [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: [http://www.bcn.cl/carpeta\\_temas/temas\\_portada.2005-227.4449440028/GuiaNormaPract.pdf](http://www.bcn.cl/carpeta_temas/temas_portada.2005-227.4449440028/GuiaNormaPract.pdf)
36. **ROMERO, K.** Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica.* [en línea]. 2009, [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1\\_a13.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf)
37. **VILCA, F.; GORDILLO, Y.** *Retención de metales pesados en suelos y su impacto ambiental. caso: Aguas residuales - Parque Industrial Río Seco.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2016 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3276/QUvicaf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
38. **SIERRA, C.** Calidad del agua. *Evaluación y diagnóstico.* [en línea]. 2011, pp. 47-69. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: [https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2568/Articulo\\_.html?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2568/Articulo_.html?sequence=2&isAllowed=y)
39. **LONDOÑO, L.; LONDOÑO, P.; MUÑOZ, F.** *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* [en línea]. 2016, Vol.14, ( 2), pp.145-153. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
40. **AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA DE PERÚ.** *Ministerio de agricultura y riego de. Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú ICA-PE.* [en línea]. 2018, pp. 1-44. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta\\_metodologia\\_ica-pe.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_ica-pe.pdf)
41. **CHÁVEZ, A.** *Determinación de metales pesados en el agua del manantial la quintilla y línea de conducción del sistema de agua potable del distrito de Sucre – Celendín.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, 2016 [fecha de consulta: 4 enero 2023].

- Disponible en:  
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1753/TESIS%20AZUCENA%20CHAVEZ%20COLLANTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
42. **FERNÁNDEZ; SOLANO, F.** *Índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICO) del agua de importancia mundial*. Colombia: Universidad de Pamplona, 2005.
  43. **HERNANDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, P.** *Metodología de la investigación*. 6.ed. México: McGraw-Hill, 2018.
  44. **ANDER, E.** *Aprender a investigar, Nociones básicas para la investigación social*. [en línea]. Argentina: Editorial Brujas, 2018 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2017/05/Aprender-a-investigar-nociones-basicas-Ander-Egg-Ezequiel-2011.pdf.pdf>
  45. **SENAMHI.** *Informe técnico N.º 09-2022/SENAMHI-DMA-SPC-PE*. [en línea]. Perú: Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica – DMA Subdirección de Predicción Climática, 2022 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-26.pdf>
  46. **NÚÑEZ, M.** *Cuantificación de metales pesados cobre (Cu), cadmio (Cd) y cromo (Cr) en alfalfa (Medicago sativa) variedad california en el pueblo tradicional de Congata, 2018*. [en línea]. Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2019 [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9072>
  47. **MCDANIEL, C.; GATES, R.** *Investigación de mercado*. México: Cengage Learning Editores, 2016.
  48. **BERNAL, C.** *Metodología de la investigación*. [en línea]. 3.ed. Colombia: Pearson, 2010. [fecha de consulta: 4 enero 2023]. Disponible en:  
<https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
  49. **CORDOVA, M.** *Calidad del agua en la microcuenca del Río Challhuahuacho comparado con los estándares de calidad ambiental para riego y bebedero (ECA 3) en la zona de Challhuahuacho, Cotabamba – Apurímac – 2016*. [en línea]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. [fecha de consulta: 05 septiembre 2023]. Disponible en:  
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1414/T016\\_46009403\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1414/T016_46009403_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **ANEXOS**

**Anexo 01**  
**Matriz de consistencia**

Planteamiento del problema	Objetivos de la investigación	Variables de estudio	Metodología de la investigación
<p style="text-align: center;"><b>Problema general</b></p> <p>¿Cuál es la calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac?</p> <p style="text-align: center;"><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac?</li> <li>● ¿Cuál es el índice de calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac?</li> <li>● ¿Cuál es el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac?</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar la calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE en el departamento de Apurímac.</p> <p style="text-align: center;"><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Analizar las características fisicoquímicas del agua de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.</li> <li>● Determinar el índice de calidad fisicoquímica para la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.</li> <li>● Determinar el índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos presentes en el agua superficial de la cuenca de Challhuahuacho en el departamento de Apurímac.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Variables y dimensiones:</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Variable</b></p> <p>- Calidad del agua en el río Challhuahuacho mediante la metodología de ICA-PE</p> <p style="text-align: center;"><b>Dimensión</b></p> <p>- Características fisicoquímicas del agua</p> <p>- Índice de calidad fisicoquímica</p> <p>- Índice de riesgo para los elementos eco-tóxicos</p>	<p><b>1.1. Enfoque de la investigación</b> El enfoque de la investigación es <b>cuantitativo</b>.</p> <p><b>1.2. Tipo de investigación</b> De acuerdo con los propósitos del estudio y a la naturaleza de los problemas planteados, se empleó el siguiente tipo de investigación: <b>básica</b>.</p> <p><b>1.3. Nivel de investigación</b> La investigación tendrá un nivel de investigación <b>descriptivo</b>, porque pretende describir los resultados obtenidos.</p> <p><b>1.4. Nivel de investigación métodos de investigación</b> <b>Analítico-sintético</b> El método analítico se utilizará para poder analizar los resultados obtenidos de las dos muestras enviadas al laboratorio y posteriormente hacer una síntesis de la calidad fisicoquímica del agua del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac a través de la metodología de evaluación ICA-PE.</p> <p><b>1.5. Diseño de la investigación</b> El diseño de la investigación es <b>no experimental</b>, debido a que no se manipularon las variables y <b>transversal</b> con este diseño se pretende realizar el análisis de la calidad fisicoquímica del agua del río Challhuahuacho de la provincia de Apurímac para el año 2022.</p> <p><b>1.6. Técnica e instrumento de recolección de datos</b> Se realizó el análisis de resultados de laboratorio de las muestras de agua y una metodología de dos fases: precampo y campo</p>

Anexo 2

Resultados de laboratorio realizado por los Laboratorios Analíticos del Sur LAS01-AG-AC-22-00017 según JCGM 106



**Laboratorios Analíticos del Sur**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



**INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00017**

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 1 de 6

Clave generada : DC941DFE

Señores : FRANK BRIYAN GALINDO RETAMOZO  
 Dirección : AREQUIPA  
 Atención : FRANK BRIYAN GALINDO RETAMOZO  
 Proyecto : EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CHALFHUHUACHO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE ICA-PE EN EL DEPARTAMENTO DE APURÍMAC

**PROTOCOLO DE MUESTREO**

Muestreo realizado por : Cliente : SHORI GUERRERO BACA  
 Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 015-22  
 Plan de muestreo : Muestreado por el cliente  
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 15/01/2022  
 Fecha de ensayo : 15/01/2022  
 Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb. AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000033	MUESTRA 1	Agua Residual - Agua Residual Industrial	RIO CHALFHUHUACHO / MOLINO PAMPA / APURÍMAC	787200.48E ; 8425715.457N 18L	14/01/2022	16:00

Condiciones de recepción de la muestra  
 Cooler refrigerado

Observación  
 -

*(Firma manuscrita)*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"  
 (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.  
 \*"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.  
 (c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.  
 Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE-050

## INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00017

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 2 de 5

Clave generada : DC941DFE

### RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	807		841	798	800	802								
		C	E	T	O <sub>2</sub>	As	Hg	Al	B	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000033	MUESTRA 1	0,073	18,5	8,5	0,0103	0,00048	1,02	0,0110	≤0,00011	0,2195	0,640	0,03525	≤0,0025	≤0,0031	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	804		809
		pH	T	DBO-5
		Unidad de pH	°C	mg/L
AG22000033	MUESTRA 1	8,09	19,0	4

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipe-Perú (054)443294 - (054)444582





Laboratorios Analíticos del Sur

# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

## INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00017

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 3 de 5  
Clave generada : DC941DFE

### RESULTADOS DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	871
		Coliformes Total NMP/100 mL
AG22000033	MUESTRA 1	79x10 <sup>2</sup>

*[Handwritten Signature]*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 José A. Ortiz Condori  
 Microbiología  
 Biólogo C.B.P. 13062

\*Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC\*

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*<Valor numérico">=Limite de detección del método, \*<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

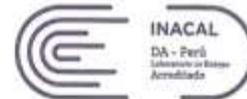




Laboratorios Analíticos del Sur

# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

## INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00017

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 4 de 5

Clave generada : DC941DFE

### MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[ - 50] mS/cm
841	Oxígeno Disuelto en agua: SMWW, 23rd Ed. Part. 4500-O C. Azide Modification	[ 0.18 - 20] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Mercurio Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
808	pH en agua. SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ Part B 23rd Ed. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 14] Unidad de pH
858	Demanda bioquímica de oxígeno. BOD SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ 0 - 20000] mg/L
871	Numeración de Coliformes Totales (NMP). SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ 1.8 - 16000000000] NMP/100 mL

\* : Límite de detección

† : Límite de cuantificación

Fin del informe

  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC\*

[\*] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*"Valor numérico">Límite de detección del método, "<Valor Numérico">Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier ampliación o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Valor del informe  
Nº del informe



Laboratorios Analíticos del Sur

# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Página 5 de 5

## Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-22-00017 según JCGM 106

Fecha de emisión: 1/02/2022

Norma : Límites Máximos Permisibles para las descargas de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas, según el Decreto Supremo D.S. N° 010-2010-MINAM.

Cod.Interno :AG22000033		Nom.Muestra :MUESTRA 1					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre	Especificación	Evaluación de la conformidad		
<b>FISICO QUIMICO</b>							
808	pH	Unidad de pH	8.09	0.033	6 a 9	100.00 % ACEPTADO	
<b>INORGANICO</b>							
796	Arsénico	mg/L	0.0103	0.0018	≤0.1	100.00 % ACEPTADO	
800	Mercurio	mg/L	0.00046	0.00041	≤0.002	100.00 % ACEPTADO	
802	Plomo	mg/L	≤0.0026	0.00059	≤0.2	100.00 % ACEPTADO	
802	Zinc	mg/L	≤0.0031	0.0018	≤1.5	100.00 % ACEPTADO	
802	Cadmio	mg/L	≤0.00011	0.00024	≤0.05	100.00 % ACEPTADO	
802	Hierro	mg/L	0.840	0.015	≤2	100.00 % ACEPTADO	
802	Cobre	mg/L	0.2195	0.0066	≤0.5	100.00 % ACEPTADO	

N.A. : No Aplica

\*Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC\*

  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444592.





Laboratorios Analíticos del Sur

# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

## INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00018

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 1 de 5

Clave generada : 4C2B006F

Señores : FRANK BRIYAN GALINDO RETAMOZO  
Dirección : AREQUIPA  
Atención : FRANK BRIYAN GALINDO RETAMOZO  
Proyecto : EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CHALHUAHUACHO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE ICA-PE EN EL DEPARTAMENTO DE APURÍMAC

### PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : SHORI GUERRERO BACA  
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 015-22  
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente  
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 15/01/2022  
Fecha de ensayo : 15/01/2022

Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000034	MUESTRA 2	Agua Natural - Superficial - Agua de Río	RIO CHALHUAHUACHO / SECTOR COLEGIO / APURÍMAC	797595.168E - 9436192.882N 18L	14/01/2022	16:30

#### Condiciones de recepción de la muestra

Cooler refrigerado

#### Observación

-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAC e ILAC"

(\* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"\*<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.com>, Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Verificar el informe  
vía web

**INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00018**

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 2 de 5  
Clave generada : 4C2B006f

**RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO**

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	*807		*841	796	800	802						
		C E	T	O2	As	Hg	Al	B	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb
		mS/cm	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG2200034	MUESTRA 2	0,354	18,7	8,5	≤0,0012	0,00438	0,674	0,0208	≤0,00011	0,2206	0,509	0,04410	≤0,0028

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	802	808		855
		Zn	pH	T	DBO-5
		mg/L	Unidad de pH	°C	mg/L
AG2200034	MUESTRA 2	≤0,0031	8,13	18,8	4

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Ornar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC\*

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*<<Valor numérico">>Límite de detección del método, \*<<Valor Numérico">>Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

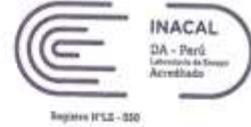
Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582





# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



## INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00018

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 3 de 5

Clave generada : 4C2B008F

### RESULTADOS DE ENSAYO MICROBIOLÓGICOS

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	RTI
		Coliformes Total NMP/100 mL
AG2200034	MUESTRA 2	11x10 <sup>4</sup>

*[Firma manuscrita]*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 José A. Ortiz Condori  
 Microbiología  
 Biólogo C.B.P. 13052

\*Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC\*

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*<Valor numérico>=Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico>=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443284 - (054)444582





Laboratorios Analíticos del Sur

# Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

## INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00018

Fecha de emisión: 1/02/2022

Página 4 de 5

Clave generada : 4C2B006F

### MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*807	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[ - 50] mS/cm
*841	Oxígeno Disuelto en agua: SMEWW, 23rd Ed. Part. 4500-O C Azide Modification	[* 0.18 - 20] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4, Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4, Mercurio Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES, Revisión 4.4, Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
808	pH en aguas. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ Part B 23rd Ed. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 14] Unidad de pH
869	Demanda bioquímica de oxígeno. DBO SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0 - 20000] mg/L
871	Numeración de Coliformes Totales (NMP), SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 8221 B, 23rd Ed. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 1.8 - 160000000000] NMP/100 mL

\* : Límite de detección      b : Límite de cuantificación

Fin del informe

  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Omar A. Juárez Soto  
 Gerente de Operaciones  
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

\*Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC\*

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

\*<Valor numérico>=Límite de detección del método, \*<Valor Numérico>=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdesur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe  
vía web

**Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-22-00018 según JCGM 106**

Fecha de emisión: 1/02/2022

Norma : Estandares de Calidad Ambiental Para Agua, según el Decreto Supremo D.S. N°004-2017-MINAM, para la Cat. 1: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, Sub. Cat. A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Cod.Interno :AG22000034		Nom.Muestra :MUESTRA 2					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre	Especificación	Evaluación de la conformidad		
<b>FISICO QUIMICO</b>							
7807	Conductividad eléctrica	µS/cm	354.000	8.6000	≤1500	100.00 %	ACEPTADO
808	pH	Unidad de pH	8.15	0.086	6.5 a 8.5	100.00 %	ACEPTADO
7941	Oxígeno Disuelto	mg/L	6.5	0.12	≥6	100.00 %	ACEPTADO
889	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	4	0.14	≤3	0.00 %	RECHAZADO
<b>INORGANICO</b>							
786	Arsénico	mg/L	≤0.0012	0.0011	≤0.01	100.00 %	ACEPTADO
800	Mercurio	mg/L	0.00436	0.00063	≤0.001	0.00 %	RECHAZADO
802	Cadmio	mg/L	≤0.00011	0.00023	≤0.003	100.00 %	ACEPTADO
802	Boro	mg/L	0.0208	0.00048	≤2.4	100.00 %	ACEPTADO
802	Cobre	mg/L	0.2256	0.0075	≤2	100.00 %	ACEPTADO
802	Fierro	mg/L	0.509	0.023	≤0.3	0.00 %	RECHAZADO
802	Manganeso	mg/L	0.04410	0.0031	≤0.4	100.00 %	ACEPTADO
802	Zinc	mg/L	≤0.0031	0.00093	≤3	100.00 %	ACEPTADO
802	Aluminio	mg/L	0.674	0.085	≤0.9	100.00 %	ACEPTADO
802	Pomo	mg/L	≤0.0028	0.00043	≤0.01	100.00 %	ACEPTADO
<b>MICROBIOLOGICOS Y PARASITOLOGICOS</b>							
871	Coliformes Total	NMP/100 mL	11x10 <sup>3</sup>	N.A	≤50	N.A. %	RECHAZADO

N.A. : No Aplica

Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e IAC

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Omar A. Juárez Soto  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

[\*] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



### Anexo 3

#### Panel fotográfico

##### *Extracción de agua – muestra 1 del río Challhuahuacho*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 1 del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797206.49E; 8435715.467N 18L. observando agua de tipo residual industrial.

##### *Extracción de muestra 1 en los recipientes brindados por el laboratorio del río Challhuahuacho*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 1 del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797206.49E; 8435715.467N 18L. en los recipientes brindados por el laboratorio.

*Extracción de muestra 1 para análisis DBO del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 1 para análisis DBO del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797206.49E; 8435715.467N 18L. observando agua de tipo residual industrial.

*Extracción de muestra 1 para análisis DBO del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 1 para análisis DBO del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797206.49E; 8435715.467N 18L. observando agua de tipo residual industrial.

*Extracción de agua – muestra 2 del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 2 del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797596.168E; 8438192.882N 18L. observando agua de tipo superficial natural.

*Extracción de muestra 2 en los recipientes brindados por el laboratorio del río Challhuahuacho*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 2 del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797596.168E; 8438192.882N 18L. en los recipientes brindados por el laboratorio.

*Extracción de muestra 2 para análisis DBO del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 2 para análisis DBO del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797596.168E; 8438192.882N 18L. observando agua de tipo superficial natural.

*Extracción de muestra 2 para análisis DBO del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la toma de muestra 2 para análisis DBO del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797596.168E; 8438192.882N 18L. observando agua de tipo superficial natural.

*Transporte de muestras de agua del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la preparación de las muestras de agua del río Challhuahuacho/Molino Pampa/Apurímac con coordenadas 797596.168E; 8438192.882N 18L. para su transporte.

*Cooler para transporte de muestras de agua del río Challhuahuacho.*



*Nota:* La imagen muestra la preparación de las muestras de agua del río Challhuahuacho para su transporte