# PROYECTO EL GALENO

# MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA
# TEMPORADA HÚMEDA 2023

## INFORME ZONA II

**Revisión 0**

## Preparado para:

## LUMINA COPPER S.A.C.


Av. El Derby 055, Edificio Cronos, Torre 1, Piso 9,

Santiago de Surco - Perú

T. (511) 616-3500

F. (511) 616-3525


## Preparado por:


## ING. ALICIA ROMERO

## Especialista Ambiental Senior

CIP 44433


**LIMA, MARZO 2024**

# TABLA DE CONTENIDOS

**1 INTRODUCCIÓN 5**

1.1 Introducción 5

1.2 Participación de la población local 5

**2 METODOLOGÍA 6**

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo 6

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra 6

2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo 6

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales 7

2.3 Recolección de datos de campo 13

2.3.1 Toma de muestras 13

2.3.2 Medición de caudales 13

2.4 Análisis de laboratorio 14

2.5 Criterios para el análisis de resultados 14

2.6 Control de calidad 14

**3 MEDICIÓN DE CAUDALES 16**

**4 RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA 17**

4.1 Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1 17

4.1.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 17

4.1.2 Parámetros fisicoquímicos 17

4.1.3 Metales de interés ambiental 18

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 20

4.2 Aguas superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E2 20

4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 20

4.2.2 Parámetros fisicoquímicos 21

4.2.3 Metales de interés ambiental 22

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 26

4.3 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona II 26

4.4 Evaluación Hidroquímica 27

**5 RESULTADOS EN PUNTOS CON SOLO REGISTRO DE PARÁMETROS DE CAMPO 31**

**6 RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD 32**

6.1 Blanco viajero y blanco de campo 32

6.2 Balance de cargas 32

6.3 Comparación entre metales totales y disueltos 33

**7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34**

**8 REFERENCIAS 36**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona II 6
Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona II 6
Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría 7
Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial 9
Tabla 3-1 Caudales registrados en campo 16
Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 1-A1 17
Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 17
Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1 18
Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4 21
Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 21
Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4 23
Tabla 4-7 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial 27
Tabla 4-8 Concentración de Iones Principales en la Zona II 27
Tabla 4-9 Resumen de Tipos de Agua en la Zona II del Proyecto 29
Tabla 5-1 Resultados *in-situ* en los puntos de muestreo con solo registro de parámetros de campo 31

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo 13
Figura 4-1 Distribución de la carga catiónica total en las estaciones de la Zona II 28
Figura 4-2 Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona II 29
Figura 4-3 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona II 30
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona II 33
Figura 6-2 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos 33

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1.1 Mapa de ubicación del proyecto
Mapa 2.1 Mapa de ubicación de puntos de monitoreo con toma de muestra

Mapa 2.2 Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de solo parámetros de campo

Mapa 4.1 Mapa de tipos químicos de agua

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A Resultados de análisis de laboratório

Anexo B Memoria fotográfica

Anexo C Actas de participación

Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo

Anexo E Fichas de información de campo

Anexo F Registros de aforo

Anexo G Cadenas de Custodia

Anexo H Informes de ensayo de laboratório

Anexo I Certificados de calibración

# 1 Introducción

## 1.1 Introducción

Políticamente, el proyecto El Galeno, se encuentra ubicado en el noreste del Perú, entre los distritos de Sorochuco (provincia de Celendín) y La Encañada (provincia de Cajamarca), en el departamento de Cajamarca, localizado aproximadamente a 30 km al NE de la ciudad de Cajamarca. El Mapa 1.1 muestra la ubicación del proyecto, así como la red hidrográfica de la zona de estudio.

Hidrográficamente, el área de estudio comprende una zona de la microcuenca de la Río Grande, una zona de la microcuenca de la quebrada Chanche, y una zona de la microcuenca de la quebrada Chirimayo.

El presente informe muestra los resultados de la campaña de monitoreo semestral de calidad de aguas en la Zona II (Microcuenca de la Quebrada Chanche) del Proyecto El Galeno. Los monitoreos efectuados corresponden a la temporada húmeda 2023, y fueron desarrollados los el día 06 y 07 de diciembre del 2023. Las áreas de trabajo de la Zona II incluyeron las quebradas Chanche, Quengomayo, Milpo y Quinuacucho.

Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo A, mientras que el Anexo B presenta la memoria fotográfica.

El monitoreo ha sido efectuado por SGS del Perú S.A. siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016), aprobado mediante Resolución Jefatural N°010-2016-ANA y el último IGA aprobado.

Los parámetros analizados corresponden a aquellos regulados por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, en concordancia con los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) empleados en el instrumento de gestión ambiental vigente en la fecha de ejecución del monitoreo.

## 1.2 Participación de la población local

Durante el monitoreo de calidad de agua de la temporada húmeda se contó con la participación de los siguientes monitores ambientales de los caseríos:

- Anunciación Huamán Chávez, quien participó en el monitoreo de agua el día 06 y 07 de diciembre.

- Olger Tasilla Alvarado, quien participó en el monitoreo de agua el día 06 y 07 de diciembre.

# 2 Metodología

## 2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Como parte de la campaña de monitoreo, en la Zona II se cuenta con 10 puntos de evaluación, de los cuales, en ocho (8) puntos se miden parámetros de campo y, adicionalmente se colectan muestras para ser analizadas en laboratorio (ver Mapa 2.1, Ubicación de puntos de monitoreo con toma de muestras - Zona II temporada húmeda 2023); mientras que, en los dos (2) puntos restantes, únicamente se registran parámetros de campo (ver Mapa 2.2, ubicación de puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo – Zona II temporada húmeda 2023).

### 2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

En la Tabla 2-1 se presenta la ubicación y descripción de los ocho (8) puntos en donde se recolectan muestras para ser enviadas y analizadas en el laboratorio; asimismo, en estos lugares se efectúan los registros de los parámetros de campo correspondientes. Por otro lado, en el Anexo D, se presenta las fichas de identificación de los puntos de monitoreo en mención. Mientras que, en el Anexo E se muestras las fichas de información de campo.

**Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona II**

| Código | Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S | | Altitud | Descripción | Categoría ECA | Efectuado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Norte | Este | | | | |
| M14 | 9 228 853 | 797 447 | 3 824 | ACD escuela Santa Rosa de Milpo | 1-A1 | Si |
| S33 | 9 226 342 | 800 018 | 3 513 | ACD en El Punre | 1-A1 | Si |
| M24A | 9 225 830 | 800 308 | 3 002 | Quebrada Chanche | 3 y 4 | Si |
| M26A | 9 226 894 | 801 460 | 3 575 | Quebrada Quengomayo | 3 y 4 | Si |
| M38 | 9 227 056 | 798 130 | 3 768 | Quebrada Quinuacucho | 3 y 4 | Si |
| M8 | 9 227 678 | 797 238 | 3 789 | Quebrada Milpo | 3 y 4 | Si |
| PA-02 | 9 228 764 | 797 328 | 3 895 | Pasivo ambiental cerrado | - | No (1) |
| PA-04 | 9 228 804 | 797 240 | 3 930 | Afloramiento en cerro Hilorrico | 3 y 4 | Si |

**Nota:**
ACD = agua para consumo doméstico.
(1) No fue posible efectuar el monitoreo programado puesto que este se encontraba sin flujo.

### 2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

En la Tabla 2-2 se presenta la ubicación y descripción de los dos (2) puntos donde se efectuaron los registros de los parámetros de campo de calidad de agua.

**Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona II**

| Código | Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S | | Altitud | Descripción | Categoría ECA | Efectuado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Norte | Este | | | | |
| M13 | 9 228 747 | 797 493 | 3 820 | Manantial en Milpo | 3 | No (1) |
| M35 | 9 227 512 | 798 582 | 3 606 | Reservorio Muyo | 3 y 4-E1 | Si |

**Nota:**
(1) No fue posible efectuar el muestreo en el punto M13, ya que el Manantial en Milpo se encontró seco.

## 2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales

La definición de los parámetros de monitoreo de la calidad de agua superficial se ha efectuado teniendo en consideración los lineamientos establecidos por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) y el último IGA aprobado.

La selección de los parámetros para la caracterización y evaluación de la calidad de agua se realizó tomando en consideración los diferentes usos de agua de los puntos de monitoreo, de acuerdo con lo indicado en Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

- Categoría 1-A1: aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Se utiliza de manera referencial para el estudio de fuentes de agua para consumo.

- Categoría 3-D1 y 3-D2: aguas destinadas para riego de vegetales y bebida de animales. Se utiliza de manera referencial para el estudio de fuentes de agua para el aprovechamiento de riego y bebida de animales, así como para comparar referencialmente las fuentes de agua de origen subterráneo.

- Categoría 4-E1 y 4-E2: Conservación del ambiente acuático. Se utiliza para el análisis de la calidad de los cuerpos de agua lénticos y lóticos. (4-E1: Lagos y lagunas, 4-E2: Ríos).

- Los parámetros de evaluación de cada punto de muestreo según su categoría se presentan en la Tabla 2-3, mientras que, los ECA de referencia aplicables se muestran en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría**

| Parámetro | Tipo de muestra analizada | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ECA Categoría 1-A1 | ECA Categoría 3 y 4 | ECA Categoría 4 | Muestras de Blanco |
| Aceites y Grasas | X | X | X | |
| Alcalinidad Total | X | X | X | |
| Amoniaco | | X | X | |
| Bromuro, Br- | X | X | X | X |
| Cianuro Total | X | | | |
| Cianuro Wad | | X | | |
| Cianuro Libre | | X | X | |
| Clorofila A | | | X | |
| Cloruros. Cl- | X | X | X | X |
| Color Verdadero | X | X | X | |
| Conductividad | X | X | X | |
| Cromo Hexavalente | | X | X | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | X | X | X | |
| Demanda Química de Oxígeno | X | X | | |
| Detergentes Aniónicos | | X | | |
| Dureza Total | X | | | |

| Parámetro | Tipo de muestra analizada | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ECA Categoría 1-A1 | ECA Categoría 3 y 4 | ECA Categoría 4 | Muestras de Blanco |
| Fenoles | X | X | X | |
| Fluoruros. F- | X | X | X | X |
| Fósforo Total | X | X | X | |
| Fosfatos, PO4-3 | X | X | X | X |
| Nitratos. NO3- | X | X | X | X |
| Nitritos. NO2- | X | | X | X |
| Nitrógeno Amoniacal | X | | | |
| Nitrógeno Total | | X | X | |
| pH | X | X | X | |
| Sólidos Totales Disueltos | X | X | X | |
| Sólidos Totales Suspendidos | | X | X | |
| Sulfatos. SO4-2 | X | X | X | X |
| Sulfuros | | X | X | |
| Turbidez | X | X | X | |
| Metales disueltos | X | X | X | X |
| Metales totales | X | X | X | X |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes | X | X | X | |
| Coliformes totales | X | | | |
| Enterococos intestinales | X | X | | |
| Escherichia coli | X | | | |
| Vibrio cholerae | X | | | |
| Microcistina LR | X | | | |
| Formas Parasitarias | X | | | |
| Huevos de Helmintos | | X | | |
| Organismos de Vida Libre | X | | | |

**Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial**

| Parámetros | Unidad de Medida | Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cat. 1-A1 | Cat. 3 | | Cat. 4 | |
| | | Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección | D1: Riego Vegetales | D2: Bebida de Animales | E1: Lagos y Lagunas | E2: Ríos |
| ***In-situ*** | | | | | | |
| pH | pH | 6.5-8.5 | 6.5-8.5 | 6.5-8.4 | 6.5-9.0 | 6.5-9.0 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | ≥ 6 | ≥ 4 | ≥ 5 | ≥ 5 | ≥ 5 |
| Conductividad Eléctrica | µS/cm | 1 500 | 2 500 | 5 000 | 1 000 | 1 000 |
| Turbidez | UNT | 5 | - | - | - | - |
| Temperatura | ºC | Δ 3 | Δ 3 | Δ 3 | Δ 3 | Δ 3 |
| Caudal | L/s | - | - | - | - | - |
| **Físico y Químicos** | | | | | | |
| pH (Laboratorio) | Ph | - | - | - | - | - |
| C.E. (Laboratorio) | µS/cm | - | - | - | - | - |
| Dureza Total | mg $CaCO_3$/L | 500 | - | - | - | - |
| Alcalinidad Total | mg $CaCO_3$/L | - | - | - | - | - |
| STD | mg/L | 1 000 | - | - | - | - |
| SST | mg/L | - | - | - | 25 | 100 |
| DBO | mg/L | 3 | 15 | 15 | 5 | 10 |
| DQO | mg/L | 10 | 40 | 40 | - | - |
| Aceites y grasas | mg/L | 0.5 | 5 | 10 | 5 | 5 |
| Color Verdadero | Escala Pt/Co | 15 | 100 | 100 | 20 | 20 |
| Clorofila A | mg/L | - | - | - | 0.008 | - |

| Parámetros | Unidad de Medida | Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cat. 1-A1 | Cat. 3 | | Cat. 4 | |
| | | Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección | D1: Riego Vegetales | D2: Bebida de Animales | E1: Lagos y Lagunas | E2: Ríos |
| Sulfato | mg/L | 250 | 1 000 | 1 000 | - | - |
| Bromuro | mg/L | - | - | - | - | - |
| Cloruro | mg/L | 250 | 500 | - | - | |
| Fluoruro | mg/L | 1.5 | 1 | | | |
| Sulfuro | mg/L | - | - | - | 0.002 | 0.002 |
| Nitrato | mg N/L | 50 | - | - | 13 | 13 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg N/L | | - | - | 0.02 | |
| Amoniaco | mg N/L | 1.5 | - | - | - | - |
| Nitrito | mg N/L | 3 | 10 | 10 | - | - |
| Nitrógeno Total | mg/L | - | - | - | 0.315 | - |
| Fósforo Total | mg/L | 0.1 | - | - | 0.035 | 0.05 |
| Cianuro Total | mg/L | 0.07 | - | - | | - |
| Cianuro WAD | mg/L | - | 0.1 | 0.1 | | - |
| **Microbiológicos** | | | | | | |
| Coliformes Fecales | NMP/100 mL | 20 | 1 000 | 2 000 | 1 000 | 2 000 |
| Coliformes Totales | NMP/100 mL | 50 | - | - | - | - |
| Enterococos Fecales | NMP/100 mL | - | - | - | - | - |
| Formas parasitarias | Organismo/ Litro | 0 | - | - | - | - |
| *Giardia duodenalis* | Organismo/ Litro | - | - | - | - | - |
| *Vibrio Cholerae* | Presencia/ 100 mL | Ausencia | - | - | - | - |

| Parámetros | Unidad de Medida | Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cat. 1-A1 | Cat. 3 | | Cat. 4 | |
| | | Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección | D1: Riego Vegetales | D2: Bebida de Animales | E1: Lagos y Lagunas | E2: Ríos |
| Huevos de helminto | Huevos/litro | - | <1 | <1 | - | - |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 0 | 1 000 | - | - | - |
| Organismos de vida libre | Organismo/ Litro | 0 | - | - | - | - |
| **Metales Totales (*)** | | | | | | |
| Aluminio | mg/L | 0.9 | 5 | 5 | - | - |
| Antimonio | mg/L | 0.02 | - | - | 0.64 | 0.64 |
| Arsénico | mg/L | 0.01 | 0.1 | 0.2 | 0.15 | 0.15 |
| Bario | mg/L | 0.7 | 0.7 | - | 0.7 | 0.7 |
| Berilio | mg/L | 0.012 | 0.1 | 0.1 | - | - |
| Boro | mg/L | 2.4 | 1 | 5 | - | - |
| Cadmio | mg/L | 0.003 | 0.01 | 0.05 | - | - |
| Cadmio Disuelto | mg/L | - | - | - | 0.00025 | 0.00025 |
| Calcio | mg/L | - | - | - | - | - |
| Cobalto | mg/L | - | 0.05 | 1 | - | - |
| Cobre | mg/L | 2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 0.1 |
| Cromo | mg/L | 0.05 | 0.1 | - | - | - |
| Hierro | mg/L | 0.3 | 5 | - | - | - |
| Litio | mg/L | - | 2.5 | 2.5 | - | - |
| Magnesio | mg/L | - | - | 250 | - | - |
| Manganeso | mg/L | 0.4 | 0.2 | 0.2 | - | - |

| Parámetros | Unidad de Medida | Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cat. 1-A1 | Cat. 3 | | Cat. 4 | |
| | | Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección | D1: Riego Vegetales | D2: Bebida de Animales | E1: Lagos y Lagunas | E2: Ríos |
| Mercurio | mg/L | 0.001 | 0.001 | 0.01 | 0.0001 | 0.0001 |
| Molibdeno | mg/L | 0.07 | - | - | - | - |
| Níquel | mg/L | 0.07 | 0.2 | 1 | 0.052 | 0.052 |
| Plata | mg/L | - | - | - | - | - |
| Plomo | mg/L | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.0025 | 0.0025 |
| Selenio | mg/L | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.005 | 0.005 |
| Sodio | mg/L | - | - | - | - | - |
| Talio | mg/L | - | - | - | 0.0008 | 0.0008 |
| Uranio | mg/L | 0.02 | - | - | - | - |
| Vanadio | mg/L | - | - | - | - | - |
| Zinc | mg/L | 3 | 2 | 24 | 0.12 | 0.12 |
| Cromo VI | mg/L | - | - | - | 0.011 | 0.011 |
| **Orgánicos** | | | | | | |
| SAAM (Detergentes) | mg/L | - | 0.2 | 0.5 | - | - |
| Microcistina-LR | mg/L | 0.001 | - | - | - | - |
| Fenoles | mg/L | 0.003 | 0.002 | 0.01 | 2.56 | 2.56 |

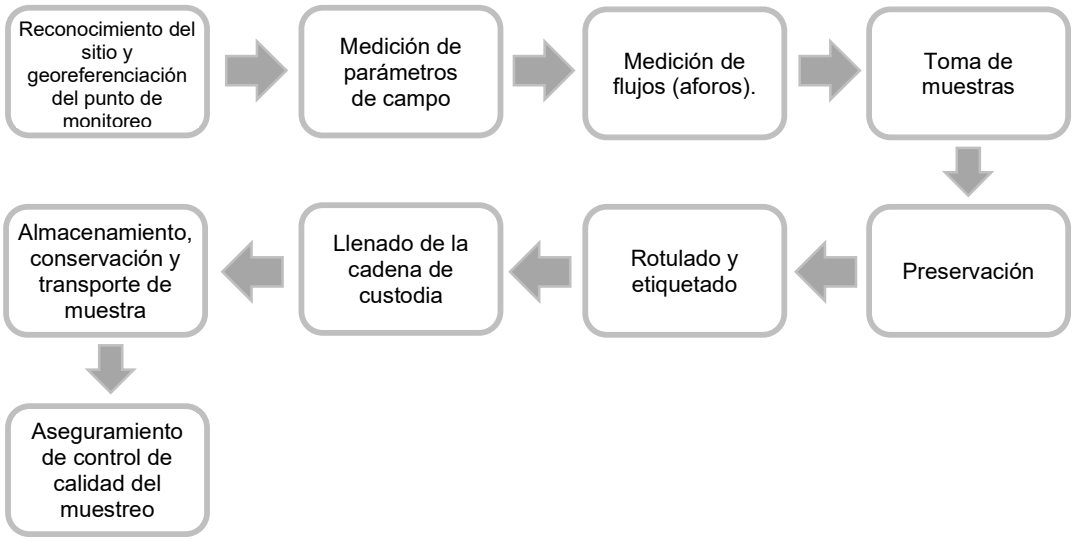
**Notas:**
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

## 2.3 Recolección de datos de campo

### 2.3.1 Toma de muestras

El muestreo de calidad de agua ha sido desarrollado por SGS del Perú S.A., un laboratorio debidamente acreditado, siguiendo los lineamientos indicados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua, el mismo que se resume a continuación:

**Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo**




Para desarrollar los muestreos se siguieron las metodologías estándar de toma de muestras, se midieron los parámetros de campo (pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad eléctrica) y se realizó la preservación, etiquetado, embalaje y transporte de las muestras, para los puntos correspondientes según lo indicado en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2.

Durante los trabajos de campo se aplicaron los procedimientos de control y aseguramiento de calidad necesarios para mantener las muestras de calidad de agua superficial sin alteración hasta su análisis en el laboratorio. También se realizó la medición de caudales en simultáneo a cada toma de muestra.

### 2.3.2 Medición de caudales

La medición de caudales fue efectuada mediante tres procedimientos distintos dependiendo de las condiciones de flujo de cada fuente a medir:

- Método volumétrico. Principalmente usado en las captaciones de agua para consumo doméstico.

- Método área velocidad empleando flotador. Este método fue empleado para cuantificar el flujo en pequeños cauces con bajo caudal, en los cuales el tirante no fue suficiente como para emplear un correntómetro.

- Método área velocidad empleando correntómetro. Este método fue empleado para cuantificar el flujo de ríos y quebradas de mediano caudal, con un tirante suficiente para la manipulación del equipo.

Las mediciones de caudal mediante el uso de correntómetros y las mediciones de parámetros fisicoquímicos *in-situ*, se realizaron empleando equipos debidamente calibrados y certificados. Todos los certificados de calibración se adjuntan en el Anexo I del presente reporte.

## 2.4 Análisis de laboratorio

Las siete (7) muestras de agua que se indican en la Tabla 2-1 (no se efectuó el monitoreo en PA-02 puesto que este se encontraba seco), se analizaron en el laboratorio SGS Perú, el cual se encuentra debidamente acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Los informes de ensayo de laboratorio son presentados en el Anexo H.

## 2.5 Criterios para el análisis de resultados

Los resultados de calidad de agua obtenidos a partir de los muestreos realizados han sido comparados con los valores y rangos establecidos en el D.S. N° 004-2017 MINAM, categorizándolos de acuerdo a su uso, tal y como se indicó en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2.

Los resultados reportados por el laboratorio y los valores de parámetros *in-situ* medidos en campo se procesaron y son mostrados mediante tablas. Para facilitar el análisis de los resultados se muestran tablas resumen de excedencias. De esta manera, se presentan los parámetros que están por encima de los valores de comparación descritos en la Sección 2.2, Parámetros evaluados y estándares ambientales.

## 2.6 Control de calidad

Los resultados de todos los registros de campo y análisis de laboratorio han sido sometidos a una serie de procedimientos rutinarios de Control de Calidad y Aseguramiento de Calidad. De manera general, se pueden describir dos fases:

- Toma de muestras de control en campo, además de garantizar las condiciones óptimas de colecta, preservación, almacenamiento, transporte y análisis en laboratorio de las muestras de agua. Este control se realizó mediante la toma de muestras de control representativas definidas como “muestras blanco” y “muestras duplicado”. Las muestras blanco se analizan para evaluar una posible contaminación de las muestras durante las actividades de campo y/o de transporte. Las muestras duplicado, son muestras tomadas al mismo tiempo procedentes de un mismo punto de muestreo, tienen como finalidad verificar la precisión del análisis de laboratorio, además de posibles errores durante la recolección de las muestras.

- Control de calidad de los resultados de laboratorio en gabinete. Esta fase consistió en la revisión de los resultados de laboratorio de las muestras blanco y de las muestras duplicado, mediante el cálculo de la diferencia porcentual relativa (DPR), cálculo del balance de cargas; y finalmente la comparación de metales disueltos y totales.

Adicionalmente, para garantizar la calidad del proceso de muestreo y la repetibilidad de los resultados, debe seguirse los siguientes procedimientos y anotarse cualquier información adicional cuando se tomen las muestras de agua:

- Los recipientes de muestras de calidad de agua deben ser específicamente suministrados por el laboratorio;

- Se debe utilizar los preservantes correctos de acuerdo con las especificaciones del laboratorio para cada parámetro;

- Se debe usar guantes de plástico descartables cuando se recogen y manipulan las muestras. Estos guantes deben cambiarse para cada lugar de toma de muestra;

- Las muestras deben mantenerse a la temperatura indicada por el laboratorio hasta que sean analizadas;

- Cada recipiente debe etiquetarse con letra clara y registrarse en la cadena de custodia (CDC).

# 3 Medición de caudales

Los valores de cada medición fueron anotados en los correspondientes formatos de campo para su posterior cálculo. La Tabla 3-1 presenta los resultados de los aforos realizados; asimismo, el Anexo F presenta los formatos de recojo de información de aforos en campo.

**Tabla 3-1 Caudales registrados en campo**

| Punto | Descripción | Caudal (L/s) | Observación |
|---|---|---|---|
| **Puntos de monitoreo con toma de muestra** | | | |
| M14 | ACD escuela Santa Rosa de Milpo | 3.981 | |
| S33 | ACD en El Punre | 1.57 | |
| M8 | Quebrada Milpo | 699.4 | |
| M24A | Quebrada Chanche | 1316.1 | |
| M26A | Quebrada Quengomayo | 462.21 | |
| M38 | Quebrada Quinuacucho | 1644 | |
| PA-02 | Pasivo ambiental cerrado (bocamina en Santa Rosa de Milpo) | - | Pasivo cerrado, sin flujo |
| PA-04 | Afloramiento en cerro Hilorrico | 0.178 | |
| **Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo** | | | |
| M13 | Manantial en Milpo | - | Manantial seco |
| M35 | Reservorio Muyo | - | Reservorio |

# 4 Resultados en puntos con toma de muestra

El análisis de los resultados de calidad de agua se enfoca en la observación de las excedencias registradas en las estaciones de monitoreo de la Zona II, de acuerdo a la comparación con los lineamientos del ECA en función al uso de agua identificado (ECA Categoría 1, Categoría 3 y Categoría 4).

## 4.1 Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1

Tal como se mencionó previamente (Tabla 2-1), el programa de monitoreo incluye la toma de muestra en dos (2) puntos asociados a la categoría 1-A1 del ECA de agua, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

### 4.1.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

De acuerdo con en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), se indica que los parámetros de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, deben ser preferentemente analizados *in-situ*; en este sentido, en la Tabla 4-1 se presentan los resultados de estos parámetros y su comparación con los ECA de referencia.

**Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 1-A1**

| Punto | Descripción | pH | CE (µS/cm) | Oxígeno Disuelto (mg/L) | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ECA Categoría 1-A1** | | **6.5 - 8.5** | **1500** | **≥ 6** | **Δ 3** | **5** |
| M14 | ACD escuela Santa Rosa de Milpo | 7.15 | 309.40 | 6.45 | 13.90 | 2.05 |
| S33 | ACD en El Punre | 7.70 | 325 | 7.00 | 11.60 | 1.17 |

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-1, en los puntos de muestreo M14 y S33, relacionados a la categoría 1 del ECA (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), el pH fue neutro y tuvo un valor de 7.15 y 7.70, respectivamente. En ambos casos estos valores cumplen los ECA.

Se registraron valores óptimos de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, los cuales cumplieron los ECA en ambas estaciones de muestreo.

### 4.1.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-2, se presenta el resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos; asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

**Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1**

| Parámetro | Unidad | Punto M14 | Punto S33 | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|
| Color Verdadero | UC | 1.9 | <LD | - |
| Turbidez (laboratorio) | NTU | 1.6 | 0.7 | - |
| Alcalinidad Total | mgCaCO3/L | 102.9 | 182.1 | - |
| Dureza Total | mg CaCO3/L | 94.8 | 158.2 | - |
| Conductividad (laboratorio) | uS/cm | 226.10 | 352.00 | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg/L | 165 | 225 | - |
| Potencial de Hidrógeno (laboratorio) | pH | 7.79 | 7.77 | - |

| Parámetro | Unidad | Punto M14 | Punto S33 | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|
| Nitrógeno Amoniacal | mg NH3-N/L | 0.016 | 0.011 | - |
| Nitrógeno Amoniacal | ug/L | 15.800 | 11.300 | |
| Fósforo Total | mg P/L | <LD | 0.039 | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | <LD | <LD | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg O2/L | <LD | <LD | - |
| Aceites y Grasas | mg/L | <LD | <LD | - |
| Cianuro total | mg/L | <LD | <LD | - |
| Fenoles | mg/L | <LD | <LD | - |
| Turbidez (campo) | NTU | 2.05 | 1.17 | - |
| Conductividad (campo) | uS/cm | 309.40 | 325.00 | - |
| Temperatura | °C | 13.90 | 11.60 | - |
| Potencial de Hidrógeno (campo) | pH | 7.15 | 7.70 | - |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.45 | 7.00 | - |

**Notas:**
<LD: Menor al Límite de Detección.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1).

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de demanda bioquímica y química de oxígeno, aceites y grasas, cianuro total y fenoles en ninguno de los puntos de muestreo asociados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-2 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero, estos se encuentran en bajas concentraciones, las cuales no llegan a exceder los ECA.

De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio.

### 4.1.3 Metales de interés ambiental

Para analizar la calidad del agua respecto a las concentraciones de metales, las comparaciones con los ECA de agua superficial para estos parámetros se realizan en base a las concentraciones totales de los elementos, ya que estas serán mayores que las concentraciones disueltas.

En la Tabla 4-3, se presenta el resumen de resultados para metales totales, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

**Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1**

| Metales (mg/L) | Punto M14 | Punto S33 | Excede el ECA |
|---|---|---|---|
| *Aluminio Total | 0.061 | 0.041 | - |
| *Antimonio Total | <LD | <LD | - |
| *Arsénico Total | 0.00087 | <LD | - |
| *Bario Total | 0.0265 | 0.0053 | - |
| *Berilio Total | <LD | <LD | - |
| Bismuto Total | <LD | <LD | - |
| *Boro Total | <LD | <LD | - |
| *Cadmio Total | 0.00023 | 0.00005 | - |

| Metales (mg/L) | Punto M14 | Punto S33 | Excede el ECA |
|---|---|---|---|
| Calcio Total | 43.854 | 60.974 | - |
| Cerio Total | 0.00037 | <LD | - |
| Cesio Total | 0.0005 | <LD | - |
| Cobalto Total | <LD | <LD | - |
| *Cobre Total | 0.00061 | 0.00047 | - |
| *Cromo Total | <LD | <LD | - |
| Estaño Total | <LD | <LD | - |
| Estroncio Total | 0.0755 | 0.0571 | - |
| Fósforo Total | <LD | <LD | - |
| Galio Total | <LD | <LD | - |
| Germanio Total | <LD | <LD | - |
| Hafnio Total | <LD | <LD | - |
| *Hierro Total | 0.1022 | 0.0260 | - |
| Lantano Total | <LD | <LD | - |
| Litio Total | 0.0006 | <LD | - |
| Lutecio Total | <LD | <LD | - |
| Magnesio Total | 0.992 | 2.329 | - |
| *Manganeso Total | 0.01395 | 0.00167 | - |
| *Mercurio Total | <LD | <LD | - |
| *Molibdeno Total | <LD | <LD | - |
| Niobio Total | <LD | <LD | - |
| *Niquel Total | <LD | <LD | - |
| Plata Total | <LD | <LD | - |
| *Plomo Total | <LD | <LD | - |
| Potasio Total | 1.38 | 0.28 | - |
| Rubidio Total | 0.0045 | <LD | - |
| *Selenio Total | <LD | <LD | - |
| Silice Total | 7.71 | 3.55 | - |
| Silicio Total | 3.604 | 1.661 | - |
| Sodio Total | 1.330 | 0.206 | - |
| Talio Total | 0.00022 | <LD | - |
| Tantalio Total | <LD | <LD | - |
| Teluro Total | <LD | <LD | - |
| Thorio Total | <LD | <LD | - |
| Titanio Total | 0.0009 | 0.0011 | - |
| *Uranio Total | 0.000050 | 0.000280 | - |
| Vanadio Total | <LD | <LD | - |
| Wolframio Total | <LD | <LD | - |
| Yterbio Total | <LD | <LD | - |
| *Zinc Total | 0.0752 | 0.0202 | - |
| Zirconio Total | <LD | <LD | - |

| Metales (mg/L) | Punto M14 | Punto S33 | Excede el ECA |
|---|---|---|---|

**Notas:**
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 1-A1.
<LD: Menor al Límite de Detección.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1).

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-3, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como antimonio, boro, berilio, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y selenio no fueron detectados en las muestras de agua. No obstante, las concentraciones de aquellos parámetros que si fueron detectados, cumplen con los valores de referencia indicados en los ECA.

### 4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

*Coliformes Fecales y Totales*

Las concentraciones de coliformes fecales y totales analizadas, fueron de <LD (<1.8 NMP/100 mL) en ambos casos, los cuales cumplirían con los estándares establecidos en los ECA (20 NMP/100 m/L)

*Escherichia coli*

No se detectaron concentraciones de Escherichia coli, ya que los informes indican registros <LD (<1.8 NMP/100 mL), por lo tanto, cumplen los valores establecidos en el ECA de agua.

*Organismos de vida libre*

En la estación M14 se registró una concentración de 4018 organismos/L de organismos de vida libre en forma de algas. La presencia de algas suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas y otros. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua.

*Otros parámetros microbiológicos*

Se evaluaron otros parámetros microbiológicos, tales como Vibrio cholerae, formas parasitarias, microcistina-LR, huevos y larvas, guardia duodenalis y quistes y ooquistes de protozoarios patógenos, entre otros. En ambas estaciones, los ensayos de laboratorio indicaron la ausencia de estos organismos, por lo que se cumpliría lo indicado en el ECA de agua.

## 4.2 Aguas superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E2

Tal como se mencionó en el ítem 2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo el programa de monitoreo incluye la toma de muestra en cinco (5) puntos asociados a las categorías 3 y 4 del ECA de agua, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

### 4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

De acuerdo con en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), se indica que los parámetros de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, deben ser preferentemente analizados *in-situ*; en este sentido, en la Tabla 4-4 se presentan los resultados de estos parámetros y su comparación con los ECA de referencia.

**Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4**

| Punto | Descripción | pH | CE (µS/cm) | Oxígeno Disuelto (mg/L) | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ECA Categoría 3 - Riego de vegetales** | | **6.5 - 8.5** | **2500** | **≥ 4** | **Δ 3** | **-** |
| **ECA Categoría 3 - Bebida de animales** | | **6.5 - 8.4** | **5000** | **≥ 5** | **Δ 3** | **-** |
| **ECA Categoría 4 - Ríos** | | **6.5 - 9.0** | **1000** | **≥ 5** | **Δ 3** | **-** |
| M8 | Quebrada Milpo | **4.32** | 30.20 | 6.46 | 12.30 | 0.91 |
| M24A | Quebrada Chanche | 7.60 | 164.20 | 7.07 | 12.10 | 4.67 |
| M26A | Quebrada Quengomayo | 7.74 | 215.70 | 6.90 | 8.10 | 3.19 |
| M38 | Quebrada Quinuacucho | **3.13** | 526.00 | 6.40 | 14.10 | 10.34 |
| PA-04 | Afloramiento en cerro Hilorrico | **5.11** | 198.10 | 6.12 | 11.80 | 0.69 |

**Nota:**
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 3 y 4).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los puntos de muestreo ubicados en la Quebrada Chanche (M24A) y Quebrada Quengomayo (M26A), relacionados a la categoría 3 y 4 del ECA, presentan un pH neutro (7.60 y 7.74 respectivamente), los cuales cumplen los valores de referencia indicados en los ECA para ambas categorías. De manera contraria, los puntos de muestreo M8 (Quebrada Milpo), M38 (Quebrada Quinuacucho) y PA-04 (Afloramiento en cerro Hilorrico) presentaron valores ácidos de pH (4.32, 3.13 y 5.11 respectivamente), los que se encontrarían por debajo del rango de referencia de pH indicado en los ECA. Los puntos de muestreo M38, M8 y PA-04 se encuentran alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría el valor bajo de pH.

Los valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo relacionados con las categorías 3 y 4 del ECA de Agua, varían entre 6.12 y 7.07 mg/l. Estos valores cumplen en todos los casos con los valores de referencia del ECA.

De manera similar, los valores de conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, variaron en un rango relativamente constante y cumplieron los ECA en todas las estaciones de muestreo.

### 4.2.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-5, se presenta el resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos; asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

**Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4**

| Parámetro | Unidad | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede al ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Color Verdadero | UC | 5 | 4 | <LD | 10.8 | 4.48 | - |
| Turbidez (laboratorio) | NTU | 5 | 4 | <LD | 3.9 | 1.84 | - |
| Alcalinidad Total | mg CaCO3/L | 5 | 2 | <LD | 100.1 | NA | - |
| Conductividad (laboratorio) | uS/cm | 5 | 5 | 29.1 | 565 | 237.66 | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg/L | 5 | 5 | 20 | 370 | 157.4 | - |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg/L | 5 | 3 | <LD | 4 | 3.2 | - |
| Cromo Hexavalente Total | mg Cr/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Potencial de Hidrógeno (laboratorio) | pH | 5 | 5 | **3.09** | 7.95 | 5.30 | 3 |
| Nitrógeno Amoniacal | Mg NH3-N | 1 | 1 | 0.044 | 0.044 | NA | |

| Parámetro | Unidad | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede al ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nitrógeno Amoniacal | Ug/L | 5 | 5 | 14.5 | 3876 | 804.86 | |
| Amoníaco | mg NH3/L | 5 | 5 | 0.018 | 4.707 | 0.98 | - |
| Amonio | mg NH4/L | 1 | 1 | 0.056 | 0.056 | NA | |
| Fósforo Total | mg P/L | 5 | 2 | <LD | **0.071** | NA | 1 |
| Sulfuro | mg/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg O2/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| S.A.A.M. (Detergentes) | mg MBAS/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Aceites y Grasas | mg/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Cianuro libre | mg/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Fenoles | mg/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Cianuro WAD | mg/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Turbidez | NTU | 5 | 5 | 0.69 | 10.34 | 3.96 | - |
| Conductividad (campo) | uS/cm | 5 | 5 | 30.2 | 526 | 226.8 | - |
| Temperatura | °C | 5 | 5 | 8.1 | 14.1 | 11.68 | - |
| Potencial de Hidrógeno (campo) | pH | 5 | 5 | **3.13** | 7.74 | 5.58 | 3 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5 | 5 | 6.12 | 7.07 | 6.59 | - |

**Notas:**
Concen.: Concentración
<LD: Menor al Límite de Detección
NA: No aplica dado que el parámetro solo fue cuantificado en menos del 50% de las muestras.
Para el cálculo de la media, las concentraciones menores al límite de detección se consideraron con un valor igual al LD.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 3 y/o 4)
* Los valores de pH evaluados en laboratorio son comparados de manera referencial con los ECA de agua, dado que, según la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales) este parámetro debe ser analizado *in-situ* (en campo).

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de cromo hexavalente, sulfuros, demanda bioquímica y química de oxígeno, detergentes, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles y cianuro WAD en ninguno de los puntos de muestreo asociados a las categorías 3 y 4 del ECA de agua. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-5 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero, estos se encuentran en bajas concentraciones, las cuales no llegan a exceder los ECA, a excepción de una excedencia puntual de fosforo total (0.071 mg/L) que supera el valor de 0.05 mg/L indicado en la norma.

De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 30.2 y 526 µS/cm, mientras que, los resultados de laboratorio varían entre 29.1 y 565 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 3.13 y 7.74, mientras que, los resultados de laboratorio indican valores entre 3.09 y 7.95.

### 4.2.3 Metales de interés ambiental

Para analizar la calidad del agua respecto a las concentraciones de metales, las comparaciones con los ECA de agua superficial para estos parámetros se realizan en base a las concentraciones totales de los elementos, ya que estas serán mayores que las concentraciones disueltas. Sin perjuicio de lo anteriormente indicado, el cadmio disuelto corresponde a un metal considerado en la categoría 4 del ECA de agua, por lo que también se considera la descripción de este.

En la Tabla 4-6, se presenta el resumen de resultados para metales totales, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

**Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4**

| Metales (mg/L) | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Aluminio Total | 5 | 5 | 0.169 | **6.787** | 2.108 | 1 |
| *Antimonio Total | 5 | 1 | <LD | 0.0002 | NA | - |
| *Arsénico Total | 5 | 4 | <LD | 0.00372 | 0.001322 | - |
| *Bario Total | 5 | 5 | 0.0057 | 0.02 | 0.0103 | - |
| *Berilio Total | 5 | 2 | <LD | 0.00061 | NA | - |
| Bismuto Total | 5 | 1 | <LD | 0.00011 | NA | - |
| *Boro Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Cadmio Total | 5 | 4 | <LD | 0.00216 | 0.00087 | - |
| *Cadmio Disuelto | 5 | 4 | <LD | **0.00216** | 0.00072 | 2 |
| Calcio Total | 5 | 5 | 1.136 | 37.31 | 14.505 | - |
| Cerio Total | 5 | 3 | <LD | 0.00392 | 0.0010 | - |
| Cesio Total | 5 | 2 | <LD | 0.002 | NA | - |
| *Cobalto Total | 5 | 5 | 0.0001 | 0.02315 | 0.00677 | - |
| *Cobre Total | 5 | 5 | 0.00033 | **1.37961** | 0.34462 | 2 |
| *Cromo Total | 5 | 1 | <LD | 0.0018 | NA | - |
| Estaño Total | 5 | 1 | <LD | 0.00012 | NA | - |
| Estroncio Total | 5 | 5 | 0.005 | 0.0731 | 0.0325 | - |
| Fósforo Total | 5 | 1 | <LD | 0.064 | NA | - |
| Galio Total | 5 | 3 | <LD | 0.0005 | 0.000208 | - |
| Germanio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Hafnio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Hierro Total | 5 | 5 | 0.1216 | **8.1205** | 2.4566 | 1 |
| Lantano Total | 5 | 1 | <LD | 0.0024 | NA | - |
| *Litio Total | 5 | 4 | <LD | 0.0029 | 0.0009 | - |
| Lutecio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Magnesio Total | 5 | 5 | 0.036 | 1.803 | 0.966 | - |
| *Manganeso Total | 5 | 5 | 0.00975 | **0.33182** | 0.08333 | 1 |
| *Mercurio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Molibdeno Total | 5 | 1 | <LD | 0.00006 | NA | - |
| Niobio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Niquel Total | 5 | 3 | <LD | 0.0224 | 0.0070 | - |
| Plata Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Plomo Total | 5 | 4 | <LD | **0.1046** | 0.0245 | 2 |
| Potasio Total | 5 | 5 | 0.35 | 2.8 | 1.10 | - |
| Rubidio Total | 5 | 4 | <LD | 0.0095 | 0.0045 | - |
| *Selenio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Silice Total | 5 | 5 | 0.52 | 20.23 | 7.08 | - |

| Metales (mg/L) | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Silicio Total | 5 | 5 | 0.243 | 9.457 | 3.31 | - |
| Sodio Total | 5 | 5 | 0.584 | 1.709 | 0.951 | - |
| *Talio Total | 5 | 3 | <LD | **0.01955** | 0.004042 | 1 |
| Tantalio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Teluro Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Thorio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Titanio Total | 5 | 4 | <LD | 0.0021 | 0.0013 | - |
| Uranio Total | 5 | 4 | <LD | 0.000222 | 0.0001012 | - |
| Vanadio Total | 5 | 1 | <LD | 0.0011 | NA | - |
| Wolframio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Yterbio Total | 5 | 1 | <LD | 0.00015 | NA | - |
| *Zinc Total | 5 | 4 | <LD | **0.3784** | 0.1276 | 2 |
| Zirconio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |

**Notas:**
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 3 y/o categoría 4
Concen.: Concentraciones
<LD: Menor al Límite de Detección
NA: No aplica dado que el parámetro solo fue cuantificado en menos del 50% de las muestras.
Para el cálculo de la media, las concentraciones menores al límite de detección se consideraron con un valor igual al LD.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 3-D1, 3-D2 y 4-E2)

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-6, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como boro, mercurio y selenio, no estuvieron presentes en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como antimonio, berilio y cromo estos presentaron concentraciones mayores al límite de detección (<LD) en menos del 50% de las muestras analizadas, y en todos los casos dichos valores se encontraron muy por debajo del ECA de referencia.

A continuación, se describen los metales de interés ambiental que tuvieron mayor presencia en los puntos de muestreo evaluados:

*Aluminio Total*

En los cinco (5) puntos de muestreo relacionados a la categoría 3 y 4 del ECA de agua, las concentraciones de aluminio tuvieron un valor promedio de 2.108 mg/L; variaron entre un valor mínimo de 0.169 mg/L (estación M26A) y un valor máximo de 6.787 mg/L (estación M38). El valor registrado en M38 (Quebrada Quinuacucho), excedería la norma para este parámetro, sin embargo, estaría relacionado a las propias características geológicas del lugar. En todos los demás puntos de muestreo las concentraciones de aluminio total se encontraron muy por debajo del valor de referencia (5 mg/L) de la Categoría 3 del ECA de agua.

*Arsénico Total*

Se detectaron concentraciones de arsénico en cuatro (4) puntos de muestreo relacionados a la categoría 3 y 4 del ECA de agua, las concentraciones de arsénico tuvieron un valor promedio de 0.001322 mg/L; variaron entre un valor mínimo de <LD (estación M26A) y un valor máximo de 0.00372 mg/L (estación M38). Todos los valores cumplieron con el estándar de calidad, encontrándose por debajo del valor indicado en la norma.

*Bario Total*

El bario total estuvo presente en la totalidad de las muestras analizadas, en las aguas relacionadas a la categoría 3 del ECA, este metal varió en un rango de entre un mínimo de 0.0057 mg/L (estación M8) y un máximo de 0.02 mg/L (estación M38). Cabe indicar que las concentraciones de bario total registradas se encontraron muy por debajo del valor de referencia indicado en el ECA de agua, el cual es de 0.7 mg/L para todas las categorías desarrolladas.

*Cadmio Disuelto*

Se reportaron cuatro valores de cadmio disuelto mayores al límite de detección del método de análisis; dos (2) de estos valores excedieron el valor indicado en la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.00025 mg/L). Estas concentraciones de 0.00216 mg/L y 0.00109 mg/L, obtenidas en los puntos M38 y PA-04 respectivamente, son recurrentes de acuerdo a las evaluaciones previas, y estarían asociadas a la propia geología del lugar.

*Cobalto Total*

El cobalto total estuvo presente en la totalidad de las muestras analizadas, en los puntos de muestreo relacionados a las categorías 3 y 4 del ECA, con un valor promedio de 0.00677 mg/L, en un rango que va desde un valor mínimo de 0.0001 mg/L (estación M26A) y un máximo de 0.02315 mg/L (estación M38). Todas estas concentraciones halladas en las muestras evaluadas cumplen con los valores de referencia indicados en la categoría 3 del ECA de agua.

*Cobre Total*

Se obtuvo una concentración promedio de cobre total de 0.34462mg/L, con un valor mínimo de 0.00033 mg/L en la estación M26A, y un valor máximo de 1.37961 mg/L en la estación M38. Este último punto de muestreo mencionado, ubicado en la Quebrada Quinuacucho, excedería los 0.2 mg/L que indica el valor de referencia para la categoría 3 del ECA relacionado al riego de vegetales, los 0.5 mg/L relacionados a la bebida de animales, y además los 0.1 mg/L que indica la categoría 4 de la norma (Conservación del ambiente acuático: Ríos). Asimismo, las aguas del punto M24A ubicado en la Quebrada Chanche, que registraron un valor de 0.22542 mg/L de cobre total, cumplirían la categoría 3 del ECA de agua, pero excederían ligeramente los 0.1 mg/L de la categoría 4. Estas excedencias puntuales guardarían relación a la mineralización existente en la zona adyacente al punto de muestreo, que sumados al bajo valor de pH permite la lixiviación de este tipo de metales.

*Hierro Total*

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron un valor promedio de 2.4566 mg/L, con concentraciones que varían entre 0.1216 mg/L (estación M8) y 8.1205 mg/L (estación M38). Esta última estación excedería la norma para este parámetro, sin embargo, estas excedencias estarían asociada a las propias características geológicas del lugar, donde en épocas de lluvia estas trazas son arrastradas.

*Magnesio Total*

Se detectaron concentraciones de magnesio total en todas las estaciones muestreadas, cuyos valores variaron en un rango entre 0.036 mg/L y 1.803 mg/L. Todas las estaciones cumplen con el valor de referencia de 250 mg/L indicado en la categoría 3 del ECA de agua.

*Manganeso Total*

En las aguas relacionadas a la categoría 3 del ECA, este metal varió en un rango de entre un mínimo de 0.00975 mg/L (estación PA-04) y un máximo de 0.33182 mg/L (estación M38). Cabe indicar que las concentraciones de manganeso total registradas se encontraron muy por debajo de los valores de referencia indicados en los ECA de agua (0.2 mg/L), a excepción del valor registrado en M38, el cual excedería el estándar establecido.

*Plomo Total*

Este metal varió en un rango de entre un mínimo de <LD (<0.0006 mg/L) y un máximo de 0.1046 mg/L (estación PA-04). Según las concentraciones registradas, el punto de evaluación M38 registró una concentración de plomo total de 0.0149 mg/L, la cual superaría el valor de referencia indicado en la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.0025 mg/L); asimismo, el punto PA-04 con una concentración de plomo total de 0.1046 mg/L excedería la categoría 3 (0.05 mg/L) y 4 (0.0025 mg/L) del ECA. Estas excedencias estarían relacionadas a las ubicaciones de las estaciones de muestro; para todos los demás puntos evaluados, se cumple con el estándar de calidad ambiental.

*Talio Total*

Se detectaron únicamente dos concentraciones de talio en los puntos evaluados. La estación M38 presentó una concentración de 0.00048 mg/L, mientras que el punto PA-04 evidenció una concentración de 0.01955 mg/L. En ese sentido, las aguas de PA-04 excederían el lineamiento de la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.0008 mg/L); esta excedencia estaría relacionada a la ubicación de la estación de muestro, donde dicha zona estaría recibiendo influencia de la geología propia del cerro Hillorrico y/o el pasivo ambiental cerrado.

*Zinc Total*

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron concentraciones que varían entre <LD (<0.0026 mg/L) en la estación M26A y 0.3784 mg/L en la estación PA-04. Los valores registrados en las estaciones M38 y PA-04 (0.1894 mg/L y 0.3784 mg/L respectivamente), cumplirían los lineamientos de la categoría 3 del ECA, pero excederían la categoría 4-E2 del ECA de agua, que estipula una concentración máxima de 0.12 mg/L. De acuerdo con lo indicado en párrafos previos, estas concentraciones en el punto PA-04 estarían relacionadas a la geología de la zona.

### 4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Como parte de la evaluación de las aguas asociadas a la categoría 3 del ECA de agua, se efectuó el análisis de coliformes fecales, donde las concentraciones registradas variaron entre <LD (<1.8 NMP/100 mL) y 33 NMP/100 mL, las cuales para todos los casos se cumpliría con los valores de referencia indicados en la norma.

Con respecto al análisis de coliformes totales, las concentraciones registradas variaron entre <LD (<1.8 NMP/100 mL) y 23 NMP/100 mL.

Por otro lado, se desarrolló la numeración de *Escherichia coli*, donde para todos los casos se registraron valores menores al límite de detección (<LD) en todos los puntos de muestreo.

Asimismo, se efectuó la cuantificación de huevos de helmintos, donde los reportes de laboratorio indicaron un valor de 0 para todos los puntos de muestreo. Además, en la evaluación de *Echisnostoma sp.* no se identificaron concentraciones detectables, ya que para todos los casos se reportaron como <LD.

En el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de parámetros microbiológicos.

## 4.3 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona II

En la Tabla 4-7, se presenta el resumen de excedencias de las siete (7) muestras enviadas al laboratorio, procedentes de la Zona II.

**Tabla 4-7 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial**

| Estación | Categoría Aplicable* | Parámetros que exceden los ECA de Referencia | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *In-Situ* | | Fisicoquímicos | Microbiológicos | Metales Totales |
| | | pH** | OD | | | |
| M14 | 1-A1 | | | | | |
| S33 | 1-A1 | | | | | |
| M8 | 3 y 4 | X | | | | |
| M24A | 3 y 4 | | | | | Cu |
| M26A | 3 y 4 | | | Fósforo Total | | |
| M38 | 3 y 4 | X | | | | Al, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Cd Disuelto |
| PA-04 | 3 y 4 | X | | | | Pb, Tl, Zn, Cd Disuelto |

**Notas:**
*D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4
** Los rangos de pH establecidos en los ECA para la categoría aplicadas a esta evaluación se detallan a continuación: Categoría 1-A1 en el rango de 6,5-8,5; para la categoría 3, rango de 6,5-8,5 (riego de vegetales) y rango de 6,5-8,4 (bebida de animales); y para la categoría 4, rango de 6,5-9,0 (lagos, lagunas y ríos).
Categoría 1A -Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales
Categoría 4 - Conservación del ambiente acuático - Lagunas y Lagos (4-E1) y Ríos (4-E2).
Un aspa "X" en el recuadro indica que el parámetro no cumple con la categoría del ECA indicado.

## 4.4 Evaluación Hidroquímica

Respecto a la química de los iones principales, en la Cabe indicar que el punto M-8 no fue considerado en la evaluación ya que en laboratorio únicamente no se evaluó el ion sulfato, lo que no permite realizar la evaluación hidroquímica completa.

Tabla 4-8 se presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de calidad de agua, estos valores se expresan en miliequivalentes con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica de las aguas.

Cabe indicar que el punto M-8 no fue considerado en la evaluación ya que en laboratorio únicamente no se evaluó el ion sulfato, lo que no permite realizar la evaluación hidroquímica completa.

**Tabla 4-8 Concentración de Iones Principales en la Zona II**

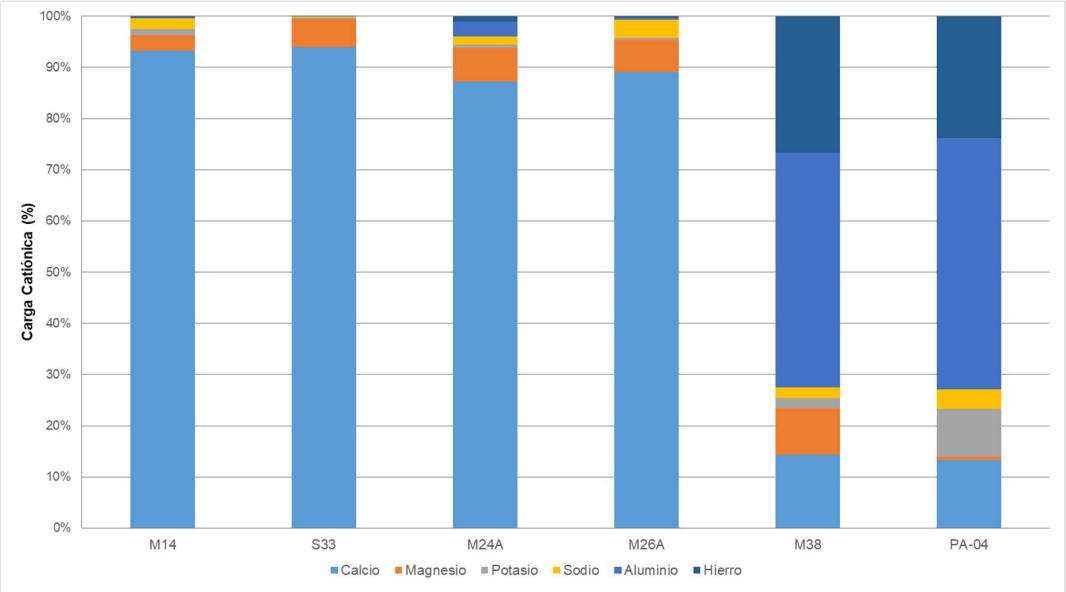
| Punto | Cationes (meq/L) | | | | | | Aniones (meq/L) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $Al^{+3}$ | $Fe^{+3}$ | $HCO_3^-$ | $CO_3^{-2}$ | $Cl^-$ | $F^-$ | $SO_4^{-2}$ | $N\text{-}NO_3^-$ |
| **M14** | 1.925 | 0.065 | 0.024 | 0.042 | 0.005 | 0.004 | 1.713 | 0.003 | 0.015 | 0.001 | 0.392 | 0.011 |
| **S33** | 2.914 | 0.171 | 0.006 | 0.009 | 0.001 | 0.000 | 3.023 | 0.024 | 0.020 | 0.002 | 0.087 | 0.021 |
| **M24A** | 1.325 | 0.098 | 0.010 | 0.024 | 0.044 | 0.016 | 1.176 | 0.007 | 0.027 | 0.002 | 0.263 | 0.021 |
| **M26A** | 1.659 | 0.117 | 0.008 | 0.065 | 0.009 | 0.005 | 1.661 | 0.014 | 0.038 | 0.004 | 0.210 | 0.010 |
| **M38** | 0.211 | 0.132 | 0.029 | 0.032 | 0.673 | 0.393 | 0.000 | 0.000 | 0.022 | 0.003 | 2.464 | 0.274 |
| **PA-04** | 0.072 | 0.004 | 0.051 | 0.020 | 0.267 | 0.129 | 0.000 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.584 | 0.000 |

**Notas:**
- Las concentraciones de aniones y cationes reportadas por el laboratorio en mg/L han sido convertidas y expresadas en meq/L con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica.
- Las concentraciones de los iones carbonatos y bicarbonatos han sido estimados a partir de la alcalinidad total y el pH, según el método distribución de especies carbonatadas en disoluciones. (Kehew A.E., 2001)

- Aquellos iones que fueron reportados por el laboratorio como menor al límite de detección (<LD), para fines de cálculo se ha considerado una concentración de 0 meq/L, con el propósito de no sobreestimar su presencia en la evaluación.

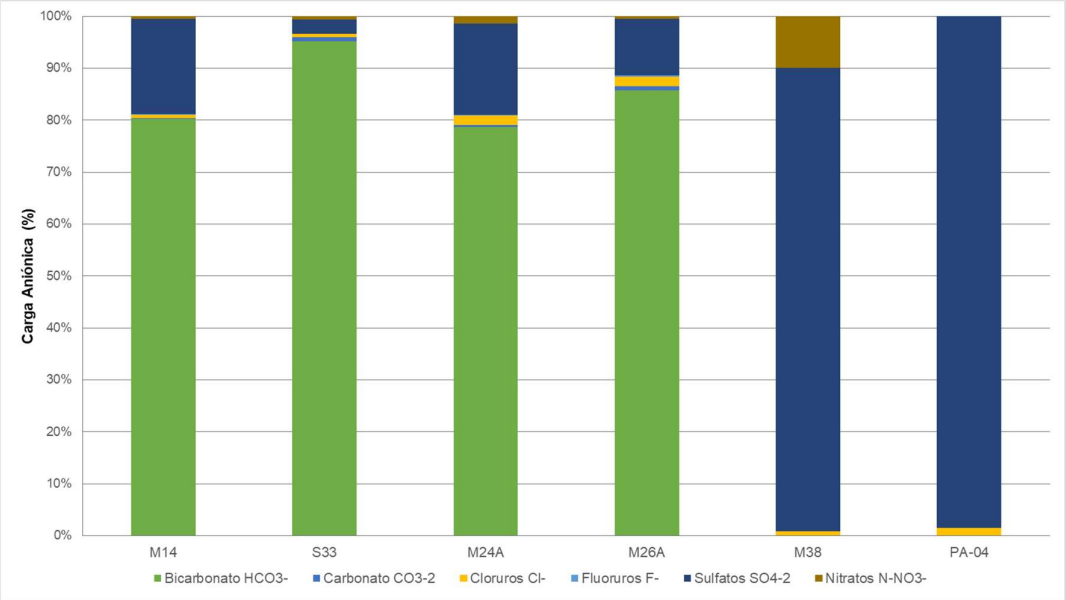
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-1, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona II corresponde al Calcio, primando en cuatro (4) de los seis (6) puntos evaluados, variando desde el 87% hasta el 94% de la de la carga catiónica total (CCT). Las dos (2) estaciones de muestreo restantes, presentan una carga catiónica total donde predomina el aluminio y/o una carga mixta (alumno y hierro).

**Figura 4-1 Distribución de la carga catiónica total en las estaciones de la Zona II**




De manera similar, se presenta la Figura 4-2, donde se observa que el ion bicarbonato es el anión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona II, primando en cuatro (4) puntos de muestreo, con una carga aniónica total que varía entre 79% y 95%. De manera contraria, en las dos (2) estaciones restantes, el sulfato es el ion que prevalece sobre los demás, con una carga aniónica total que varía entre el 89% y 98%.

**Figura 4-2 Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona II**




En base a lo descrito anteriormente, se realizó la clasificación de los tipos de agua presentes en la Zona II del Proyecto, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4-9.

**Tabla 4-9 Resumen de Tipos de Agua en la Zona II del Proyecto**

| Estación | Catión predominante | Anión predominante | Tipo de Agua | Denominación |
|---|---|---|---|---|
| M14 | Ca | HCO3 | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| S33 | Ca | HCO3 | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| M24A | Ca | HCO3 | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| M26A | Ca | HCO3 | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| M38 | Al - Fe | SO4 | Al-Fe-$SO_4$ | Sulfatada Mixta |
| PA-04 | Al | SO4 | Al-$SO_4$ | Aluminio Sulfato |

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 4-9, los tipos químicos de agua identificados en la Zona II son los siguientes:

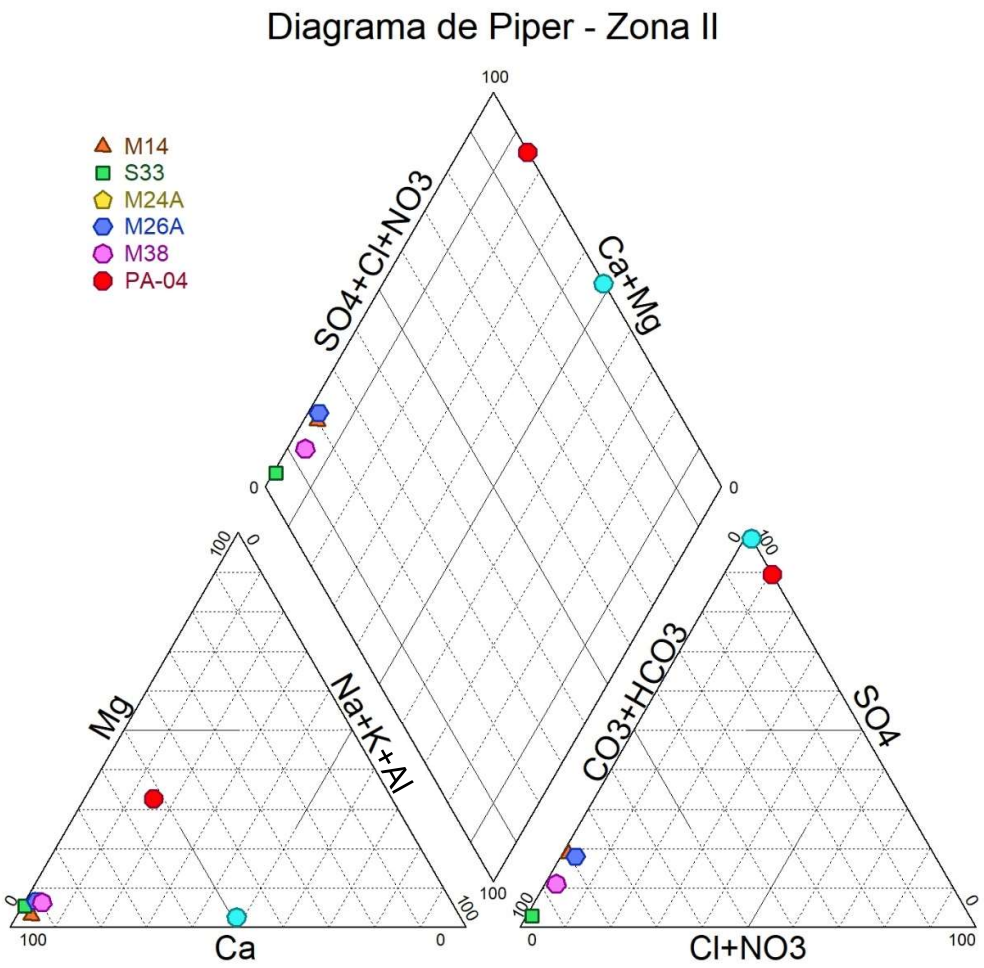
- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo M14, S33, M24A y M26A, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (107 a 225 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (70.8 a 182.1 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.15 a 7.74). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra PA-04. Está caracterizada por presentar una moderada concentración de STD (145 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (3.13). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M38. El anión predominante es el sulfato, mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total, por el contrario, estos se distribuyen en mayor proporción en iones de aluminio y hierro. Presenta un pH ácido (5.11), alcalinidad nula, una moderada concentración de STD (145 mg/L).

En la Figura 4-3 se presenta un diagrama de Piper que resume gráficamente los comentarios descritos.

**Figura 4-3 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona II**




La distribución espacial de los tipos de agua mencionados anteriormente, se presentan en el Mapa 4.1.

# 5 Resultados en puntos con solo registro de parámetros de campo

Se efectuó el registro de parámetros de campo únicamente en el punto M35 (Reservorio Muyo), dado que el punto M13 se encontraba seco. La Tabla 5-1 muestra los resultados de la evaluación efectuada en campo.

**Tabla 5-1 Resultados *in-situ* en los puntos de muestreo con solo registro de parámetros de campo**

| Punto | Descripción | pH | CE (µS/cm) | OD (mg/L) | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ECA Categoría 3 - Riego de vegetales** | | **6.5 - 8.5** | **2500** | **≥ 4** | **Δ 3** | **-** |
| **ECA Categoría 3 - Bebida de animales** | | **6.5 - 8.4** | **5000** | **≥ 5** | **Δ 3** | **-** |
| M35 | Reservorio Muyo | **10.09** | 116.9 | 15.93 | 15.8 | 9.88 |

**Nota:**
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 3 y 4).

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 5-1, el punto M35 presenta aguas con un valor de pH de 10.09, el cual estaría por encima del límite superior del rango de referencia indicados en la categoría 3 del ECA. La conductividad eléctrica es moderada con un valor de 184 µS/cm, una concentración de oxígeno disuelto es de 15.93 mg/L y un bajo nivel de turbidez de 9.88 NTU; para todos estos parámetros los resultados cumplieron el ECA.

# 6 Resultados del procedimiento de control de calidad

## 6.1 Blanco viajero y blanco de campo

Un blanco viajero consiste en una muestra de agua destilada preparada en el laboratorio y enviada junto con el resto de los materiales (frascos) de muestreo. Esta fue colocada y transportada en los mismos contenedores que el resto de las muestras; el análisis de esta muestra tiene como propósito identificar potencial contaminación por el transporte y almacenamiento en campo. Por otro lado, un blanco de campo consiste en una muestra de agua destilada preparada en la misma estación de muestreo, cuyo objetivo de esta muestra blanco es identificar si las muestras de campo han sido contaminadas durante el muestreo.

Los resultados de la muestra de blanco de campo (BK-campo1) tomada junto a la estación M14, indican que todas las concentraciones se registraron menores al límite de detección del método del laboratorio, lo que indica la buena confiabilidad de las muestras.

Los resultados del análisis de las muestras de blancos se muestran en el Anexo A.

## 6.2 Balance de cargas

El cálculo del error en el balance de cargas es un criterio utilizado para determinar la calidad de los resultados mediante la ecuación del Error (E) del Balance Iónico o de Cargas (Freeze y Cherry, 1979), bajo la premisa que las aguas son eléctricamente neutras y por consiguiente la carga de cationes y aniones debe ser equivalente.

La fórmula para calcular el E es:

$$E = \frac{\sum m_c - \sum m_a}{\sum m_c + \sum m_a} \times 100$$

Donde:

***E***: Error de balance de carga expresado en porcentaje (%);

**$\Sigma m_c$**: Suma de las concentraciones en meq/L de las especies catiónicas; y

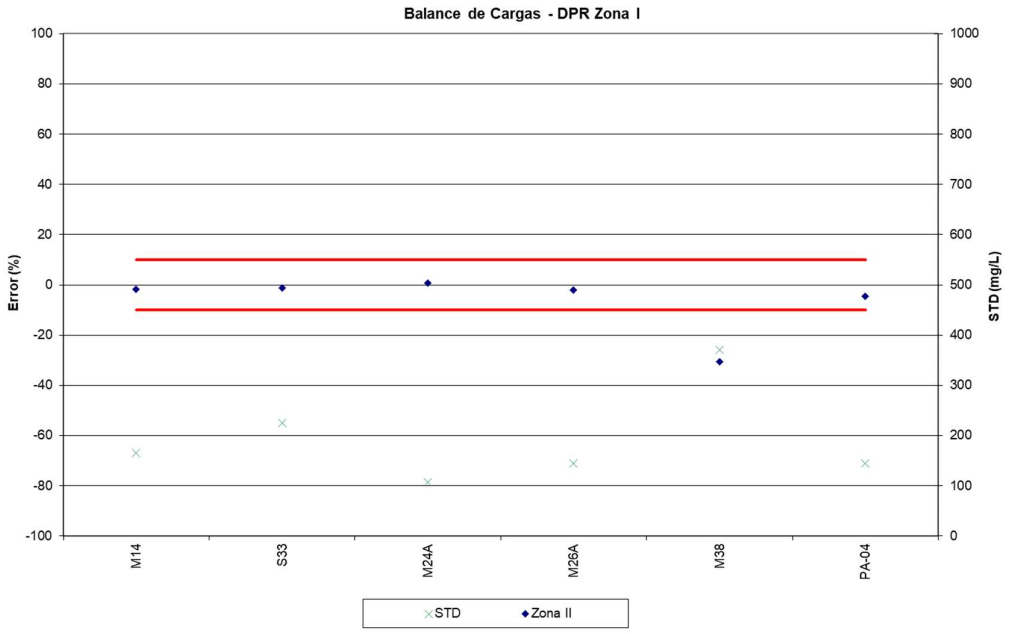
**$\Sigma m_a$**: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

Para el cálculo del *E* se utilizaron los resultados de los iones principales, convertidos a miliequivalentes por litro (meq/L). Los cationes principales utilizados fueron $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^{+}$, $Na^{+}$, $Al^{+3}$ y $Fe^{+3}$; y los aniones principales utilizados fueron $HCO_3^-$, $CO_3^{2-}$, $Cl^-$, $F^-$, $SO_4^{2-}$, y $NO_3^-$.

La organización mundial de la salud (WHO, 1996) indica que para aguas subterráneas el error aceptable debería ser menor o igual que 5% (a menos que los sólidos totales disueltos sean menores que 5 mg/L en cuyo caso un mayor error es aceptable). Sin embargo, para aguas superficiales un error de hasta 10% es aceptable.

En la Figura 6-1, se presenta de manera gráfica el error de balance iónico obtenido para cada estación. Se observa que para la mayoría de los casos el porcentaje de error varía en rango aceptable de ± 10%, sin embargo, en el punto M38 se observa que el error de cargas está alejado de este rango, la explicación podría deberse a que no se consideró el análisis de los iones H+ en el análisis para el balance de cargas, y esta muestra al presentar un pH ácido, la concentración de dicho catión podría tener cierta relevancia, esto se confirma con la presencia de una mayor concentración de STD a comparación de las otras muestras.

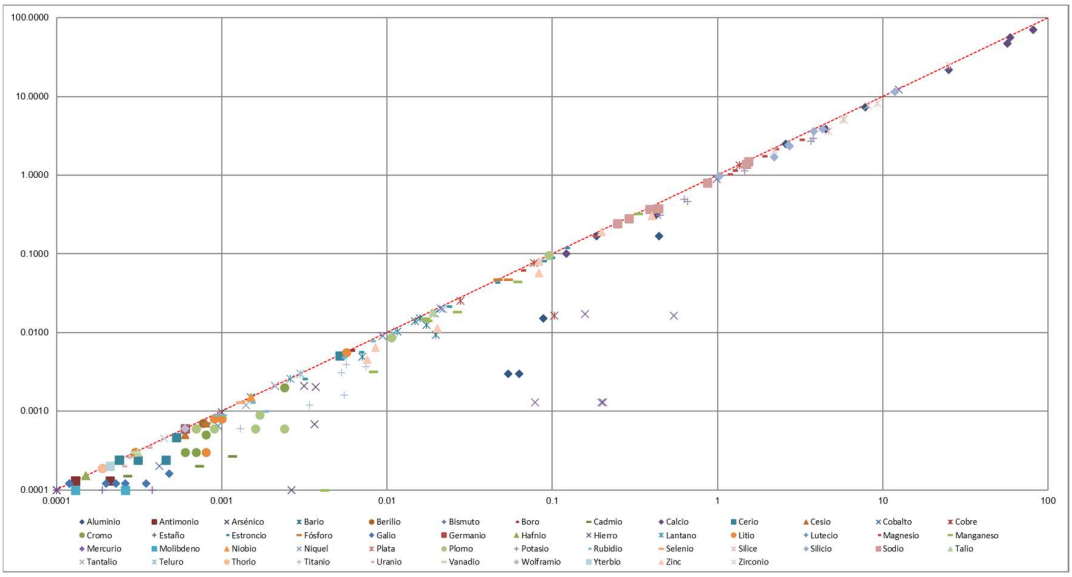
**Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona II**




## 6.3 Comparación entre metales totales y disueltos

La concentración de metales disueltos conforma una fracción del estado en el que se encuentran los metales en el agua, por lo tanto, la concentración de metales totales deberá ser siempre mayor a la concentración de metales disueltos, siendo así que la concentración de metales totales estará en función a la concentración de metales disueltos y la concentración de metales en suspensión. En la Figura 6-2, se puede verificar que las concentraciones de metales disueltos son menores a las concentraciones de sus pares de metales totales.

**Figura 6-2 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos**



# 7 Conclusiones y recomendaciones

Las aguas naturales presentes en el área del proyecto son en general de buena calidad y cumplen en su mayoría con los ECA correspondientes. Los valores de conductividad, dureza, y alcalinidad varían directamente con el incremento de STD. Bajas concentraciones de metales totales y disueltos se presentan en la mayoría de las muestras evaluadas, sin embargo, en algunos puntos se excedieron los ECA para algún parámetro analizado, estos se resumen a continuación, según categoría de análisis.

- *Aguas Categoría 1-A1:*

El pH analizado en ambas muestras fue neutro, conductividad eléctrica y turbidez y oxígeno disuelto cumplieron con los valores de referencia indicados en los ECA.

Los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, cumplen con los valores de referencia indicados en los ECA.

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas (4018 organismos/L) en la estación M14. La presencia de algas, tal como se ha indicado en informes previos, suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas y otros. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua.

Sin perjuicio de lo anteriormente indicado, la evaluación indica que en todos los demás parámetros de campo, parámetros fisicoquímicos, parámetros orgánicos e inorgánicos, y parámetros microbiológicos, en todas las estaciones se cumplieron los ECA para la categoría 1-A1.

- *Aguas Categoría 3 y 4:*

Los puntos de muestreo M24A y M26A, presentan un pH neutro (7.60 y 7.74 respectivamente), los cuales cumplen los valores de referencia indicados en los ECA para ambas categorías. En cambio, los puntos M8, M38 y PA-04 presentaron valores de pH ácidos, los cuales varían entre 3.13 y 5.11, y se encuentran por debajo de los rangos establecidos en los ECA. Los puntos anteriormente mencionados, se encuentran alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría su bajo pH; adicionalmente, el punto PA-04 podría estar siendo también influenciado por su cercanía al pasivo ambiental y las filtraciones del cerro Hilorrico.

En la estación M26A el fosforo total presentó una concentración de 0.071 mg/L que supera el estándar de calidad ambiental (0.05 mg/L). La presencia de fosforo en este punto es recurrente de acuerdo a los monitoreos realizados con anterioridad, y podría estar asociado al uso de fertilizantes, jabones o detergentes procedentes de actividades de terceros, y en oportunidades a características propias del suelo.

Se presentaron excedencias respecto a la categoría 4-E2 del ECA para el parámetro cadmio disuelto en los puntos de muestreo M38 y PA-04. La estación M38 excede las categorías 3 y 4 del ECA de agua en cobre total; además, presenta excedencias únicamente a la categoría 3 del ECA de agua en los metales: aluminio total, cobre total, hierro total y manganeso total, y excedencias únicamente en la categoría 4 del ECA, en los metales plomo total y zinc total. De manera similar, se presentaron excedencias en el punto de muestreo PA-04 en los parámetros de plomo total, talio total y zinc total, donde se excedería ligeramente la categoría 4-E2 del mismo. Del mismo modo, el punto M24A presentó una excedencia en cobre total a la categoría 4 de ECA de agua, pero que, sin embargo, cumpliría la categoría 3 de la norma.

Las excedencias mencionadas anteriormente estarían asociadas a la propia geología del lugar y sus cercanías al área mineralizada.

Para todos los demás parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, metales y parámetros microbiológicos, en todas las estaciones se cumplieron los ECA para las categorías 3 y 4.

En relación al punto de muestreo donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo (M35), se registró un valor de pH alcalino que estaría por encima del rango la categoría 3-D2 (Bebida de animales del ECA de agua). El oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbidez, cumplen con los ECA en el punto de evaluación. Cabe indicar que estos valores registrados indicarían que estas aguas están sufriendo un proceso de tratamiento químico y/o físico (aireación) debido a la diferencia de los registros en comparación a monitoreos pasados.

*Química del agua*

En base al análisis de la química de iones principales en las aguas analizadas, se pudieron identificar y caracterizar los siguientes tipos de agua:

- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo M14, S33, M24A y M26A, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (107 a 225 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (70.8 a 182.1 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.15 a 7.74). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra PA-04. Está caracterizada por presentar una moderada concentración de STD (145 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (3.13). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M38. El anión predominante es el sulfato, mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total, por el contrario, estos se distribuyen en mayor proporción en iones de aluminio y hierro. Presenta un pH ácido (5.11), alcalinidad nula, una moderada concentración de STD (145 mg/L).

En base al análisis de control de calidad, es posible indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento, transporte y análisis de laboratorio no han generado algún tipo de distorsión y/o error significativo que pueda generar una alteración relevante de los resultados obtenidos.

# 8 Referencias

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Appelo y Postma (2005). Geochemistry, Groundwater and Pollution.

Autoridad Nacional del Agua (2016). Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales.

Kehew, A.E. (2001). Applied Chemical Hydrogeology. Prentice Hall

Ministerio del Ambiente, Perú (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

United Nations Environment Programme - World Health Organization WHO (1996). Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes.