# PROYECTO EL GALENO

# MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA HÚMEDA 2022

# INFORME ZONA I

**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, ENERO 2023**

# TABLA DE CONTENIDOS

**1 INTRODUCCIÓN 5**

1.1 Introducción 5

1.2 Participación de la población local 5

**2 METODOLOGÍA 7**

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo 7

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra 7

2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo 8

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales 9

2.3 Recolección de datos de campo 15

2.3.1 Toma de muestras 15

2.3.2 Medición de caudales 15

2.4 Análisis de laboratorio 16

2.5 Criterios para el análisis de resultados 16

2.6 Control de calidad 16

**3 MEDICIÓN DE CAUDALES 18**

**4 RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA 20**

4.1 Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1 20

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

4.1.2 Parámetros fisicoquímicos 21

4.1.3 Metales de interés ambiental 23

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 25

4.2 Aguas superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E2 26

4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 26

4.2.2 Parámetros fisicoquímicos 27

4.2.3 Metales de interés ambiental 29

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 32

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1 33

4.3.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 33

4.3.2 Parámetros fisicoquímicos 33

4.3.3 Metales de interés ambiental 34

4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 36

4.4 Agua Subterránea 36

4.5 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona I 36

4.6 Evaluación Hidroquímica 37

**5 RESULTADOS EN PUNTOS CON SOLO REGISTRO DE PARÁMETROS DE CAMPO 41**

5.1 Aguas relacionadas a la Categoría 1-A1 del ECA 42

5.2 Aguas relacionadas a la Categoría 3 del ECA 42

5.3 Aguas relacionadas a la Categoría 4 del ECA 42

**6 RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD 43**

6.1 Blanco viajero y blanco de campo 43

6.2 Balance de cargas 43

6.3 Análisis de duplicados 44

6.4 Comparación entre metales totales y disueltos 45

**7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46**

**8 REFERENCIAS 49**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona I 7

Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona I 8

Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría 9

Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial 11

Tabla 3-1 Caudales registrados en campo 18

Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 1-A1 20

Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 21

Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1 23

Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4 27

Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 27

Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4 30

Tabla 4-7 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 4-E1 33

Tabla 4-8 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4-E1 33

Tabla 4-9 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 4-E1 34

Tabla 4-10 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial 36
Tabla 4-11 Concentración de Iones Principales en la Zona I 37
Tabla 4-12 Sumatoria de cationes y aniones principales en la Zona I 38
Tabla 4-13 Resumen de Tipos de Agua en la Zona I del Proyecto 39
Tabla 5-1 Resultados *in-situ* en los puntos de muestreo con solo registro de parámetros de campo 41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo 15
Figura 4-1 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 1-A1 22
Figura 4-2 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 1-A1 22
Figura 4-3 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 3 29
Figura 4-4 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 3 29
Figura 4-7 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona I 40
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona I 44
Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados 45
Figura 6-3 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos 45

## 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 laboratorio
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 laboratorio
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 del 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 I (Microcuenca Río Grande) del Proyecto El Galeno. Los monitoreos efectuados corresponden a la temporada húmeda 2022, y fueron desarrollados entre el 29 de noviembre y 20 de diciembre del 2022. Las áreas de trabajo de la Zona I incluyeron las quebradas Hierbabuena, Kerosene, Chamcas y Yanacocha.

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. En aquellos puntos que por su naturaleza no han sido clasificados como agua superficial, y corresponden agua subterránea, se ha mantenido el uso de este protocolo a fin de mantener uniformidad en la ronda de monitoreo.

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 actores:

- En los puntos de monitoreo de El Porvenir, el día 03 de diciembre participó el señor Juan Novoa Cortez, presidente de la JASS de El Porvenir.

- En los puntos de monitoreo S12 y S12B en Guagayoc, el día 06 de diciembre participó Mercedes Aguilar Chilón, presidente de la JASS de Guagayoc.

- En los puntos de monitoreo M9B y M9C, el día 06 de diciembre, participó el señor Daniel Terrones Huaman, representante de la JASS Chamcas.

- En los puntos de monitoreo de El Pedregal, los días 07 y 12 de diciembre, participó el señor William Huaman Soto, presidente de la JASS de El Pedregal.

- En el punto de monitoreo S32A, el día 07 de diciembre, participó el señor Jose Vasquez Cabrera, representante de la JASS de Rodococha.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Anunciación Huamán Chávez, quien participó en el monitoreo de agua los días 12 y 20 de diciembre.
- Carmen Salazar Tacilla, quien participó en el monitoreo de agua el día 30 de noviembre y el día 06 de diciembre.
- Jaime Llanos Salazar, quien participó en el monitoreo de agua el día 29 de noviembre y los días 03, 06 y 07 de diciembre.
- Olger Tacilla Alvarado, quien participó en el monitoreo de agua el 29 de noviembre y el día 03 de diciembre.
- Manuel Salazar Llanos, quien participó en el monitoreo de agua los días 30 de noviembre y los días 07, 12 y 20 de diciembre.

En el Anexo C se presentan las actas de participación ciudadana debidamente firmadas por los asistentes.

# 2 Metodología

## 2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Como parte de la campaña de monitoreo, en la Zona I, se cuentan con 45 puntos de evaluación. De los cuales, en veintiún (21) puntos, se miden parámetros de campo y, adicionalmente, se colectan muestras para ser analizadas en laboratorio; mientras que, en los veinticuatro (24) puntos restantes, únicamente se registran parámetros de campo.

### 2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

En la Tabla 2-1 se presenta la ubicación y descripción de los veintiún (21) puntos en donde se recolectaron muestras para ser enviadas y analizadas en el laboratorio; asimismo, en estos lugares se efectuaron 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.

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

| Código | Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S | | Altitud | Descripción | Categoría ECA | Efectuado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Norte | Este | | | | |
| M9B | 9 225 738 | 794 068 | 3 735 | Tanque #1 ACD Chamcas | 1-A1 | Si |
| M9C | 9 225 358 | 794 630 | 3 790 | Tanque #2 ACD Chamcas | 1-A1 | Si |
| M9D | 9 225 906 | 795 579 | 3 707 | Tanque #3 ACD Chamcas | 1-A1 | Si |
| PIA1 | 9 225 583 | 793 377 | 3 554 | Caja de reunión del Proyecto PIASAA | 1-A1 | No(3) |
| S12 | 9 227 024 | 793 481 | 3 930 | Guagayoc, tanque de ACD | 1-A1 | Si |
| S12A(4) | 9 226 992 | 793 421 | 3 903 | Guagayoc, tanque de ACD | 1-A1 | No |
| S12B* | 9 226 447 | 793 710 | 3 756 | Guagayoc, tanque de ACD | 1-A1 | Si |
| S22 | 9 227 677 | 792 958 | 3 833 | ACD en la escuela de YB Alta | 1-A1 | Si |
| S22C | 9 227 478 | 793 192 | 3 936 | Nuevo tanque ACD YB Alta | 1-A1 | Si(1) |
| S23 | 9 228 701 | 791 362 | 3 864 | ACD en El Porvenir de YB | 1-A1 | Si |
| S24T | 9 227 904 | 792 009 | 3 770 | Nuevo tanque de ACD de San Juan YB | 1-A1 | Si |
| S30A | 9 221 146 | 792 294 | 3 609 | Tanque de ACD de Sogorón Alto | 1-A1 | Si |
| S32A | 9 223 170 | 794 470 | 3 647 | Tanque de ACD en Rodacocha | 1-A1 | Si |
| S34 | 9 223 866 | 792 982 | 3 565 | Tanque de ACD en El Pedregal | 1-A1 | Si |
| M1 | 9 225 861 | 793 714 | 3 596 | Qda. Chamcas | 3 y 4 | Si |
| M17 | 9 226 450 | 790 736 | 3 512 | Qda. Hierbabuena | 3 y 4 | Si |
| M2 | 9 226 800 | 794 581 | 3 768 | Qda. Kerosene | 3 y 4 | Si |
| M21 | 9 222 394 | 791 571 | 3 257 | Río Grande | 3 y 4 | Si |
| M21B | 9 223 606 | 793 585 | 3 418 | Qda. Yanacocha | 3 y 4 | Si |
| M22 | 9 226 652 | 796 527 | 3 756 | Laguna Mamacocha | 4-E1 | Si(2) |
| P11 | 9 227 158 | 791 992 | 3 645 | Piezómetro artesiano | A. Sub. | Si |

**Notas:**
ACD = agua para consumo doméstico; A. Sub. = Agua subterránea; YB = Yerba Buena.
* Nueva estación de monitoreo, punto tomado en otra captación del sistema de agua potable de Guagayoc, será monitoreado durante la campaña de temporada húmeda.

| Código | Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S | | Altitud | Descripción | Categoría ECA | Efectuado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Norte | Este | | | | |

(1) Solo se efectuó el muestreo de calidad aguas, no se puedo realizar la medición de caudales porque el reservorio se encontraba cerrado.
(2) Corresponde a laguna, por tanto, no se mide caudal.
(3) No se realizó la medición por no contar con autorización de los responsables del PIASAA.
(4) Solo será monitoreado durante la temporada seca, para la temporada húmeda se monitoreará el punto S12A.

### 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 veinticuatro (24) puntos donde se efectúa el registro de los parámetros de campo de calidad de agua.

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

| Código | Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S | | Altitud | Descripción | Categoría ECA | Efectuado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Norte | Este | | | | |
| S1 | 9 225 445 | 793 911 | 3 661 | Manantial El Ojo del Peje (PIASAA) | 1-A1 | No(2) |
| S2 | 9 225 816 | 793 663 | 3 594 | Manantial Puente Viejo (PIASAA) | 1-A1 | No(2) |
| S3 | 9 225 755 | 793 657 | 3 599 | Manantial El Moro (PIASAA) | 1-A1 | No(2) |
| S4 | 9 225 701 | 793 545 | 3 593 | Manantial La Peña Mala (PIASAA) | 1-A1 | No(2) |
| S5 | 9 225 714 | 793 472 | 3 593 | Manantial La Chilca (PIASAA) | 1-A1 | No(2) |
| S6 | 9 225 615 | 793 387 | 3 558 | Manantial El Suro - Proyecto PIASAA | 1-A1 | No(2) |
| S7 | 9 225 602 | 793 380 | 3 556 | Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA | 1-A1 | No(2) |
| S8 | 9 226 125 | 793 414 | 3 692 | Manantial El Derrumbe (PIASAA) | 1-A1 | No(2) |
| S9 | 9 225 693 | 793 470 | 3 586 | Manantial sin nombre (Manantial Nuevo) | 1-A1 | No(2) |
| S30B | 9 225 343 | 796 489 | 3 858 | Captación ACD Sogorón Alto | 1-A1 | Si(3) |
| S30C | 9 225 116 | 796 496 | 3 818 | Captación ACD Sogorón Alto | 1-A1 | Si |
| S30D | 9 225 063 | 796 373 | 3 783 | Captación ACD Sogorón Alto | 1-A1 | Si |
| S34B | 9 224 496 | 794 865 | 3 641 | Captación de ACD El Pedregal | 1-A1 | No(2) |
| M37 | 9 227 270 | 794 005 | 3 913 | Bofedal Pajablanca | 3 | Si |
| S20A | 9 224 765 | 793 125 | 3 518 | Manantial en terreno Sra. M. Chávez | 3 | No(1) |
| S20B | 9 224 885 | 793 351 | 3 550 | Manantial en terreno Sr. Genaro Ocas | 3 | Si(3) |
| S21A | 9 224 627 | 794 318 | 3 627 | Manantial en terreno Sr. Elías Palacio | 3 | No(1) |
| S21B | 9 224 647 | 794 441 | 3 575 | Manantial en terreno Sra. M. Lucano | 3 | Si |
| S21C | 9 224 686 | 794 635 | 3 598 | Manantial en terreno Sr. Emeregildo, | 3 | Si |
| S21D | 9 224 761 | 794 645 | 3 626 | Manantial en terreno Sr. Emeregildo, | 3 | Si |
| S21E | 9 224 768 | 794 768 | 3 633 | Manantial en terreno Sr. A. Cabrera | 3 | Si |
| S34A | 9 224 771 | 795 311 | 3 693 | Capt. agua para riego El Pedregal | 3 | No(2) |

| Código | Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S | | Altitud | Descripción | Categoría ECA | Efectuado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Norte | Este | | | | |
| M4 | 9 228 060 | 795 021 | 3 968 | Laguna Cama de los Shingos | 4-E1 | Si |
| M5 | 9 227 329 | 795 644 | 3 891 | Laguna Kerosene | 4-E1 | Si |

**Notas:**
ACD = agua para consumo doméstico
(1) No se realizó la medición porque se encontraban sin flujo.
(2) No se realizó la medición porque hubo ausencia de la autoridad, por lo tanto, no hubo llaves para el ingreso.
(3) No se efectuó la medición de caudales debido a que estos tenían un flujo mínimo; solo se registraron parámetros de campo.

## 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).

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 y en el último IGA aprobado para el Proyecto El Galeno.

- 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 | Agua Subterránea | Muestras de Blanco |
| Aceites y Grasas | X | X | X | X | |
| Alcalinidad Total | X | X | X | X | |
| Amoniaco | | X | X | | |
| Bromuro, Br- | X | X | X | X | X |
| Cianuro Total | X | | | | |
| Cianuro Wad | | X | | X | |
| Cianuro Libre | | X | X | | |
| Clorofila A | | | X | | |

| Parámetro | Tipo de muestra analizada | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ECA Categoría 1-A1 | ECA Categoría 3 y 4 | ECA Categoría 4 | Agua Subterránea | Muestras de Blanco |
| Cloruros. Cl- | X | X | X | X | X |
| Color Verdadero | X | X | X | X | |
| Conductividad | X | X | X | X | |
| Cromo Hexavalente | | X | X | | |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | X | X | X | X | |
| Demanda Química de Oxígeno | X | X | | X | |
| Detergentes Aniónicos | | X | | | |
| Dureza Total | X | | | | |
| Fenoles | X | X | X | X | |
| Fluoruros. F- | X | X | X | X | X |
| Fósforo Total | X | X | X | | |
| Fosfatos, PO4-3 | X | X | X | X | X |
| Nitratos. NO3- | X | X | X | X | X |
| Nitritos. NO2- | X | X | X | X | X |
| Nitrógeno Amoniacal | X | | | | |
| Nitrógeno Total | | | X | | |
| pH | X | X | X | X | |
| Sólidos Totales Disueltos | X | X | X | X | |
| Sólidos Totales Suspendidos | | X | X | | |
| Sulfatos. SO4-2 | X | X | X | X | X |
| Sulfuros | | X | X | | |
| Turbidez | X | X | X | X | |
| Metales disueltos | X | X | X | X | X |
| Metales totales | X | X | X | X | X |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes | X | 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 de 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 de 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 de 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 de 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 |

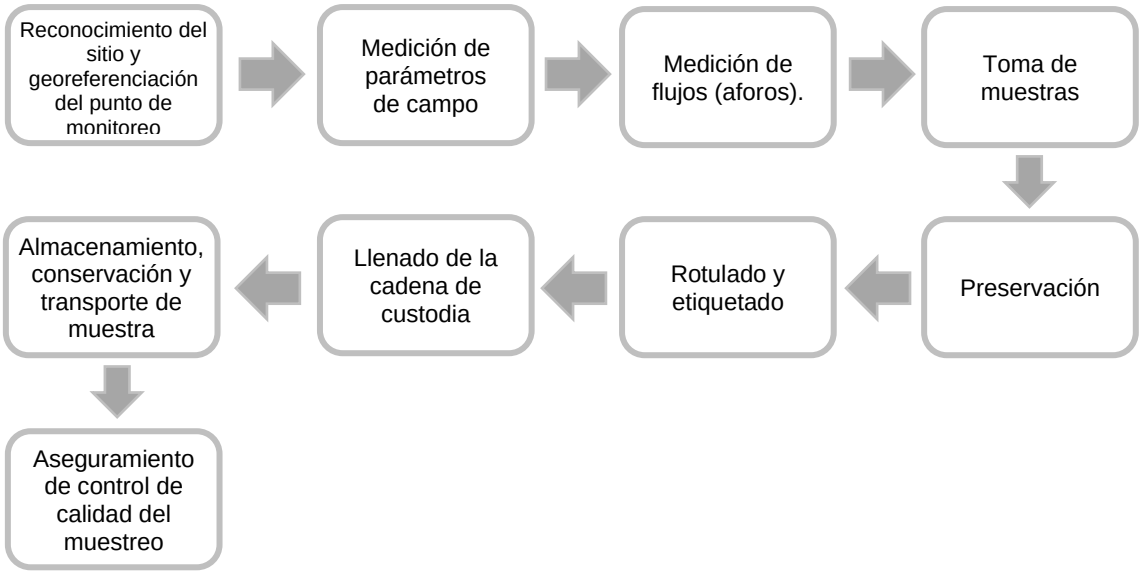
**Notas:**
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

## 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). 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 empleado: 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 empleado: 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 veintiún (21) muestras de agua que se evaluaron y que se indican en la Tabla 2-1, 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. Esta verificación 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. Mientras que, en el Anexo E se muestra las fichas de información de campo.

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

| Punto | Descripción | Caudal (L/s) | Observación |
|---|---|---|---|
| **Puntos de monitoreo con toma de muestra** | | | |
| M9B | Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #1 | 0.12 | |
| M9C | Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #2 | 0.04 | |
| M9D | Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #3 | 0.75 | |
| PIA-1 | Caja de reunión de agua del Proyecto PIASAA | - | Sin autorización |
| S12 | Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico | 0.16 | |
| S12B | Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico | 0.20 | |
| S22 | Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico | 0.04 | |
| S22C | Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico #2. | - | Reservorio cerrado |
| S23 | El Porvenir, tanque de agua para consumo doméstico | 0.70 | |
| S24T | San Juan de Yerba Buena, nuevo tanque de agua para consumo doméstico | 0.18 | |
| S30A | Sorgón Alto, tanque de agua para consumo doméstico | 0.33 | |
| S32A | Rodacocha, tanque de agua para consumo doméstico | 1.07 | |
| S34 | El Pedregal, tanque de agua para consumo doméstico | 0.47 | |
| M1 | Quebrada Chamcas | 0.22 | |
| M2 | Quebrada Kerosene | 0.62 | |
| M17 | Quebrada Hierbabuena | 0.55 | |
| M21 | Río Grande | 212.06 | |
| M21B | Quebrada Yanacocha | 19.5 | |
| M22 | Laguna Mamacocha | - | Laguna |
| P11 | Piezómetro artesiano en quebrada Hierbabuena | - | Flujo mínimo |
| **Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo** | | | |
| S1 | Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S2 | Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S3 | Manantial El Moro - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S4 | Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S5 | Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S6 | Manantial El Suro - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S7 | Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S8 | Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA | - | Ausencia de llaves |
| S9 | Manantial Sin Nombre | - | Ausencia de llaves |
| S20A | Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez) | - | Flujo mínimo |
| S20B | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Genaro Ocas) | - | Flujo mínimo |
| S21A | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano) | - | Flujo mínimo |
| S21B | Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano) | 0.279 | |

| Punto | Descripción | Caudal (L/s) | Observación |
|---|---|---|---|
| S21C | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano) | 0.124 | |
| S21D | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano) | 0.331 | |
| S21E | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera) | 0.319 | |
| S30B | Manantial S30B | - | Flujo mínimo |
| S30C | Manantial S30C | 0.605 | |
| S30D | Manantial S30D | 0.544 | |
| S34A | Captación de agua para riego en El Pedregal | - | Ausencia de llaves |
| S34B | Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal) | - | Flujo mínimo |
| M4 | Laguna Cama de los Shingos | - | Laguna |
| M5 | Laguna Kerosene | - | Laguna |
| M37 | Bofedal Pajablanca | 0.964 | |

# 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 I, 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), durante la campaña de monitoreo Temporada Húmeda 2022, se evaluaron doce (12) 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** |
| M9B | Tanque #1 ACD Chamcas | 7.18 | 83.0 | 7.11 | 12.5 | 1.11 |
| M9C | Tanque #2 ACD Chamcas | 7.55 | 66.8 | **5.88** | 11.8 | 1.62 |
| M9D | Tanque #3 ACD Chamcas | 6.99 | 110.5 | **5.17** | 14.1 | 1.39 |
| S12 | Guagayoc, tanque de ACD | 7.93 | 229.0 | 6.76 | 11.5 | 1.25 |
| S12B | Guagayoc, tanque de ACD | 7.38 | 72.7 | 6.92 | 12.9 | 2.01 |
| S22 | ACD en la escuela de YB Alta | 7.57 | 223.0 | 7.07 | 10.4 | 1.49 |
| S22C | Nuevo tanque ACD YB Alta | 7.17 | 147.2 | **5.85** | 9.7 | 1.30 |
| S23 | ACD en El Porvenir de YB | 7.57 | 321.0 | 6.38 | 10.8 | 0.94 |
| S24T | Nuevo tanque de ACD en San Juan YB | 7.64 | 404.0 | 6.23 | 12.9 | 0.57 |
| S30A | Tanque de ACD de Sogorón Alto | **4.02** | 63.7 | 6.11 | 14.8 | 1.11 |
| S32A | Tanque de ACD en Rodacocha | **6.15** | 17.3 | **5.21** | 15.5 | 1.20 |
| S34 | Tanque de ACD en El Pedregal | **6.23** | 26.3 | **5.19** | 16.1 | 1.70 |

Nota:
Un valor en negrita y celda sombreada en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4)

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-1, el pH varió entre un valor mínimo de 4.02 y un valor máximo de 7.93 (estaciones S30A y S12A respectivamente). Las estaciones S30A, S32A y S34, con valores de pH de 4.02, 6.15 y 6.23 respectivamente, no cumplirían con los valores de referencia precisados en la Categoría 1-A1 del ECA (6.5 – 8.5). Estas características de acidez, estarían relacionadas con la geología de la zona.

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

Los valores de oxígeno disuelto registrados en los doce (12) puntos muestreados relacionados a la categoría 1 del ECA, varían en un rango entre 5.17 y 7.11 mg/l, con un valor promedio de 6.16 mg/l.

### 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**

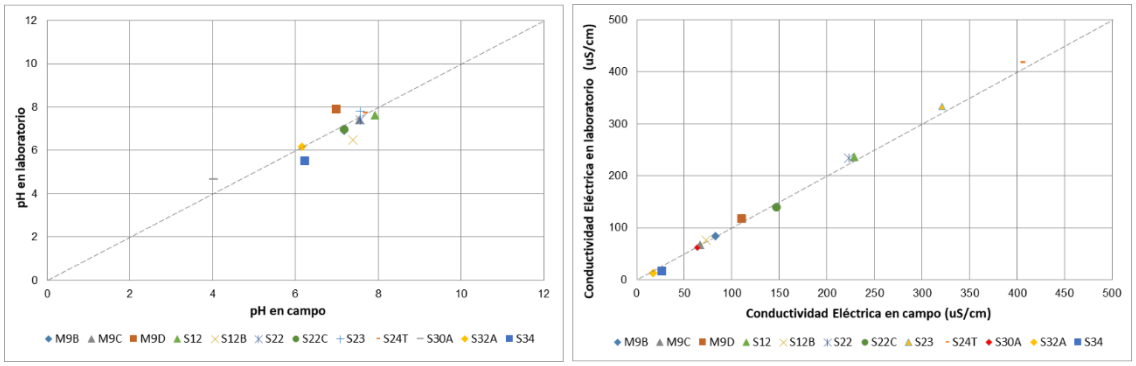
| Parámetro | Unidad | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede al ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Color Verdadero | UC | 12 | 5 | <LD | 6.5 | NA | - |
| Turbidez (laboratorio) | NTU | 12 | 12 | 0.2 | 1.3 | 0.45 | - |
| Alcalinidad Total | mg CaCO3/L | 12 | 12 | 3.5 | 226 | 68.9 | - |
| Dureza Total | mg CaCO3/L | 12 | 12 | 4.8 | 223.9 | 69.2 | - |
| Conductividad (laboratorio) | uS/cm | 12 | 12 | 12.6 | 419 | 150.1 | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg/L | 12 | 12 | 11 | 283 | 99.25 | - |
| Potencial de Hidrógeno (laboratorio) | u.e. | 12 | 12 | **4.67** | 7.92 | 6.89 | 4* |
| Nitrógeno Amoniacal | mg NH3-N/L | 12 | 8 | <LD | 0.019 | 0.013 | - |
| Fósforo Total | mg P/L | 12 | 1 | <LD | 0.045 | NA | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | 12 | 2 | <LD | **3.1** | NA | 1 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg O2/L | 12 | 5 | <LD | 7 | NA | - |
| Aceites y Grasas | mg/L | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Cianuro total | mg/L | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Fenoles | mg/L | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Turbidez | NTU | 12 | 12 | 0.57 | 2.01 | 1.308 | - |
| Conductividad (campo) | uS/cm | 12 | 12 | 17.25 | 404 | 147.04 | - |
| Temperatura | °C | 12 | 12 | 9.7 | 16.1 | 12.75 | - |
| Potencial de Hidrógeno (campo) | u,e, | 12 | 12 | **4.02** | 7.93 | 6.95 | 3 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 12 | 12 | **5.17** | 7.11 | 6.16 | 5 |

**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 1-A1)
* 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 aceites y grasas, cianuro total y fenoles en ninguno de los puntos de muestreo asociados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. La muestra S12, presenta una concentración de 3.1 mg/L de DBO que excede ligeramente los 3 mg/L del ECA de agua, esta ligera excedencia podría estar relacionado a la presencia de partículas de materia orgánica en la muestra recogida. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-2 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero en caso de que estuvieran presentes estos se encontrarían en bajas concentraciones, en consecuencia, no llegan a exceder los ECA.

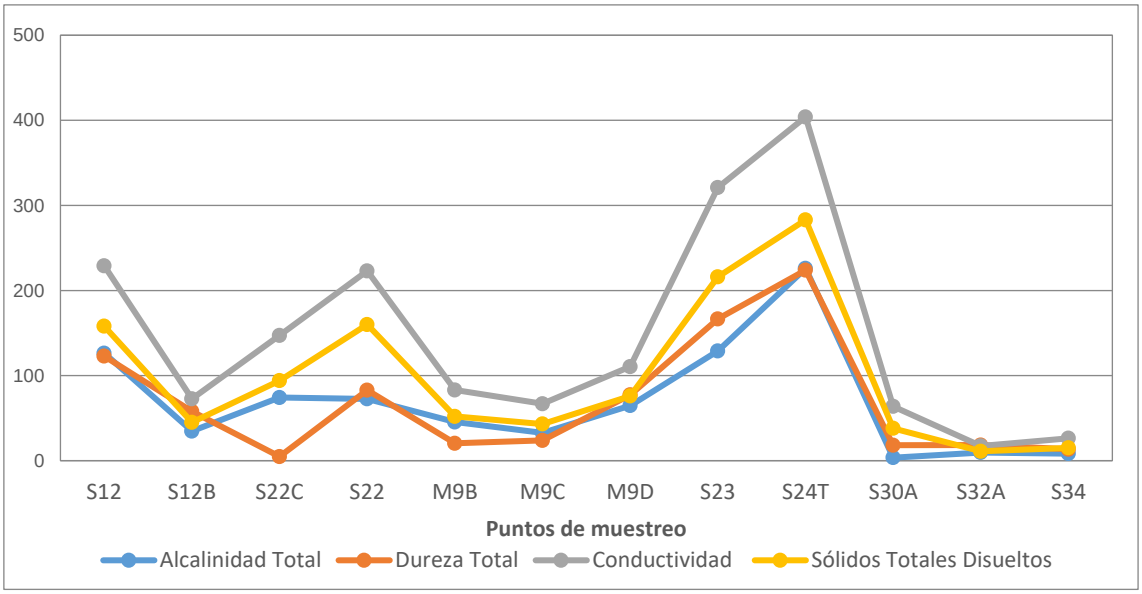
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 17.25 y 404 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 12.6 y 419 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.02 y 7.93 u.e., mientras que, los resultados de laboratorio indican valores entre 4.67 y 7.92 u.e. En las estaciones M9B, S12B, y S34 se registraron valores de pH de laboratorio más ácidos en comparación a los resultados obtenidos en campo, y en la estación M9D se registró un valor más alcalino que el valor de campo; esto estaría relacionado a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio. En la Figura 4-1, se muestra gráficamente la correlación existente entre los valores registrados en campo y laboratorio.

**Figura 4-1 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 1-A1**




Por otro lado, la conductividad eléctrica guarda una alta correlación con la concentración de sólidos totales disueltos, la alcalinidad y la dureza. Los valores de sólidos totales disueltos varían en un rango entre 11 y 283 mg/l, con un valor promedio de 99.25 mg/l, evidenciando que a mayor STD existe una mayor conductividad eléctrica. La alcalinidad también presenta una relación directa con la conductividad eléctrica y fue nula a baja (<50 mg/L) en puntos con pH ácido; y en el resto de los puntos con pH neutro fue clasificada como alcalinidad media a alta, con valores entre 72.6 y 226 mg/L. Como se muestra en la Figura 4-2, la alcalinidad, conductividad, dureza y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo.

**Figura 4-2 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 1-A1**



Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como agua blanda la que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio (CaCO3), medianamente dura entre 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L y muy dura aquella con valores superiores a 180 mg/L. La dureza total del agua Categoría 1-A1 en la Zona I de estudio varía de blanda (puntos M9B, M9C, S12B, S22C, S30A, S32A y S34) a muy dura (S24T).

### 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.

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones de muestreo cumplen con el ECA de agua respecto a las concentraciones de metales, a excepción de excedencias puntuales de aluminio y hierro.

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) | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Aluminio Total | 12 | 6 | <LD | **1.065** | 0.1503 | 1 |
| *Antimonio Total | 12 | 2 | <LD | 0.00394 | NA | - |
| *Arsénico Total | 12 | 3 | <LD | 0.00888 | NA | - |
| *Bario Total | 12 | 6 | <LD | 0.0125 | 0.0027 | - |
| *Berilio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Bismuto Total | 12 | 5 | <LD | 0.00019 | NA | - |
| *Boro Total | 12 | 1 | <LD | 0.025 | NA | - |
| *Cadmio Total | 12 | 1 | <LD | 0.00114 | NA | - |
| Calcio Total | 12 | 6 | <LD | 93.059 | 16.389 | - |
| Cerio Total | 12 | 2 | <LD | 0.0003 | NA | - |
| Cesio Total | 12 | 1 | <LD | 0.0003 | NA | - |
| Cobalto Total | 12 | 5 | <LD | 0.00199 | NA | - |
| *Cobre Total | 12 | 4 | <LD | 0.01225 | NA | - |
| *Cromo Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Estaño Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Estroncio Total | 12 | 6 | <LD | 0.166 | 0.036 | - |
| Fósforo Total | 12 | 2 | <LD | 0.099 | NA | - |
| Galio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Germanio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Hafnio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Hierro Total | 12 | 6 | <LD | 0.6337 | 0.1351 | 2 |
| Lantano Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Litio Total | 12 | 3 | <LD | 0.0016 | NA | - |
| Lutecio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Magnesio Total | 12 | 6 | <LD | 4.41 | 0.78 | - |
| *Manganeso Total | 12 | 6 | <LD | 0.06391 | 0.01227 | - |

| Metales (mg/L) | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Mercurio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Molibdeno Total | 12 | 4 | <LD | 0.0004 | NA | - |
| Niobio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Niquel Total | 12 | 5 | <LD | 0.0027 | NA | - |
| Plata Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Plomo Total | 12 | 6 | <LD | 0.0085 | 0.0017 | - |
| Potasio Total | 12 | 6 | <LD | 0.9 | 0.3 | - |
| Rubidio Total | 12 | 5 | <LD | 0.0027 | NA | - |
| *Selenio Total | 12 | 2 | <LD | 0.0035 | NA | - |
| Silice Total | 12 | 6 | <LD | 15.18 | 4.03 | - |
| Silicio Total | 12 | 6 | <LD | 7.09 | 1.885 | - |
| Sodio Total | 12 | 6 | <LD | 4.286 | 1.315 | - |
| Talio Total | 12 | 2 | <LD | 0.0002 | NA | - |
| Tantalio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Teluro Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Thorio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Titanio Total | 12 | 4 | <LD | 0.0062 | NA | - |
| *Uranio Total | 12 | 2 | <LD | 0.000145 | NA | - |
| Vanadio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Wolframio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Yterbio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Zinc Total | 12 | 5 | <LD | 0.1536 | NA | - |
| Zirconio Total | 12 | 0 | <LD | <LD | NA | - |

**Notas:**
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 1-A1
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 1-A1, 3 y 4)

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 berilio, cromo y mercurio no fueron detectados. Para el caso de metales como antimonio, arsénico, boro, cadmio, cobre, molibdeno, níquel, selenio, uranio y zinc, 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*

De los doce (12) puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), el aluminio total fue detectado en solo seis muestras analizadas, en las seis muestras restantes las concentraciones se hallaron por debajo del límite de detección (<LD). Este parámetro presenta un valor promedio de 0.1503 mg/L; y varía entre un valor mínimo de <LD (<0.003 mg/L) y un máximo de 1.065 mg/L (estación S30A). Este último valor mencionado, excedería los 0.9 mg/L del ECA para el aluminio total, y estaría relacionado a la presencia de trazas de este metal en la muestra de agua. Para todos los demás casos los valores se encontraron por debajo del límite de referencia de la Categoría 1-A1 del ECA de agua (0.9 mg/L).

*Bario Total*

El bario total estuvo presente en seis de las doce (12) muestras analizadas, en las seis muestras restantes se reportaron concentraciones por debajo del límite de detección (<LD). Se tuvo una concentración promedio de 0.0027 mg/L, entre un valor mínimo de <LD (<0.0003 mg/L) y un máximo de 0.0125 mg/L (estación S24T). 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 en el presente informe.

*Hierro Total*

El hierro total fue detectado en seis puntos de muestreo de las aguas relacionadas a la categoría 1-A1 del ECA de agua. De acuerdo con los resultados, estas muestras presentaron un valor promedio de 0.1351 mg/L, variando entre un mínimo de <LD (<0.0013 mg/L) y un máximo de 0.6337 mg/L (estación S34). Las estaciones S30A y S34 con concentraciones de 0.5622 mg/L y 0.6337 mg/L, respectivamente, excederían la Categoría 1-A1 del ECA de agua para hierro total (0.3 mg/L), asimismo, dichas concentraciones guardarían relación a la mineralización existente en la zona. Para todos los demás puntos de muestreo, las concentraciones detectadas se encontraron por debajo del límite de referencia del ECA.

*Manganeso Total*

Se detectaron concentraciones de manganeso total en seis de las doce muestras analizadas; dichas concentraciones variaron en un rango entre <LD (0.00010 mg/L) y 0.06391 mg/L (estación S30A), con un valor promedio de 0.01227 mg/L. Todas las estaciones cumplen con el valor de referencia de 0.4 mg/L de manganeso total indicado en la categoría 1-A1 del ECA.

*Plomo Total*

Las concentraciones de plomo total fueron detectadas en seis puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. Las muestras analizadas presentaron en promedio una concentración de 0.0017 mg/L de plomo total, con valores que se encuentran en el rango entre <LD (<0.0006 mg/L) y 0.0085 mg/L (estación S30A), los cuales cumplen con el valor de referencia de 3 mg/L de zinc total para esta categoría del ECA de agua.

### 4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

En el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de parámetros microbiológicos, a continuación, se describen las características relevantes de los resultados obtenidos.

*Coliformes Fecales y Totales*

Solo se cuantificó una concentración de coliformes fecales mayor al límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL) en la estación M9B, con un valor de 2 NMP/100 mL; sin embargo, este valor cumple con los estándares establecidos en el ECA de agua (20 NMP/100 mL para la categoría 1-A1). Para todos los demás puntos de evaluación, se registraron valores menores al límite de detección.

Se detectaron concentraciones de coliformes totales en nueve de los doce puntos de evaluación; estos valores de coliformes totales variaron en un rango de <LD (<1.8 NMP/100 mL) y 17 NMP/100 mL (estación M9B); donde para todos los casos se cumple con el estándar de referencia de 50 NMP/100 mL indicado en el ECA de agua.

*Escherichia coli*

Las concentraciones de Escherichia coli analizadas se encontraron por debajo del límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL), por lo tanto, cumplen los valores establecidos en el ECA de agua.

*Organismos de vida libre*

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones M9B, M9C, M9D, S12 y S12B en una proporción que varía entre 14 y 508 organismos/L. Asimismo, la estación S22 presentó una concentración de 212 organismos/L en forma de algas (208 organismos/L) y rotíferos (4 organismos/L), mientras que, la estación S22C registró una concentración de 40 organismos/L en forma de algas (30 organismos/L) y protozoarios (10 organismos/L),

Estos valores mencionados anteriormente, excederían el estándar de referencia indicado en la norma (0 organismos/L). La presencia de algas y otros organismos mencionados suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua.

En todas las estaciones restantes, no se detectó la presencia de organismos de vida libre, por lo que para estos casos se cumpliría con el estándar de calidad.

*Otros parámetros microbiológicos*

Se evaluaron otros parámetros microbiológicos, tales como formas parasitarias, larvas de helmintos, guardia duodenalis y quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. En todas las estaciones, los ensayos de laboratorio indicaron la ausencia de estos organismos, por lo que se cumpliría lo indicado en el ECA de agua.

Adicionalmente, se realizó el análisis de Microcistina LR, donde en todos los casos se registraron valores menores al límite de detección (<LD).

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

Tal como se mencionó en el ítem 2.1.1, 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-D1 - Riego de vegetales** | | **6.5 - 8.5** | **2500** | **≥ 4** | **Δ 3** | **-** |
| **ECA Categoría 3-D2 - Bebida de animales** | | **6.5 - 8.4** | **5000** | **≥ 5** | **Δ 3** | **-** |
| **ECA Categoría 4-E2 - Ríos** | | **6.5 - 9.0** | **1000** | **≥ 5** | **Δ 3** | |
| M1 | Qda. Chamcas | 7.21 | 125.5 | **4.85** | 16.7 | 1.1 |
| M2 | Qda. Kerosene | **4.71** | 27.4 | 5.78 | 15.4 | 2.08 |
| M17 | Qda. Hierbabuena | **8.45** | 358 | 7.24 | 18.6 | 2.85 |
| M21 | Río Grande | 8.20 | 304 | 8.44 | 14.6 | 1.71 |
| M21B | Qda. Yanacocha | 7.19 | 36.1 | 7.21 | 15.6 | 2.24 |

Nota:
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, 3 y 4)

Según los resultados obtenidos, las aguas analizadas presentan un pH que varía entre 4.71 y 8.45 (estaciones M2 y M17 respectivamente). En base a la categoría en mención, la estación M2 incumpliría los valores de referencia indicados en la norma, así como, la estación M17 se encontraría por encima del límite del nivel de referencia superior de la categoría D2 del ECA de agua (Bebida de animales), pero, cumpliría el estándar para la categoría D1 (riego de vegetales). Es preciso señalar que el punto localizado en la Quebrada Kerosene (M2) se ubica alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría el bajo valor de pH. Por el contrario, de acuerdo con evaluaciones previas, se sabe que las aguas de la Quebrada Hierbabuena y Río Grande son de características bicarbonatadas cálcicas, lo que guarda relación con la ligera alcalinidad de estas aguas.

Los valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo relacionados con las categorías 3 y 4 del ECA de Agua, varían entre 4.85 y 8.44 mg/l, con un valor promedio de 6.70 mg/l; y cumplen en todos los casos con los valores de referencia del ECA, a excepción del punto M1 en la Quebrada Chamcas, que se encontraría ligeramente por debajo del valor mínimo indicado en la norma para la categoría D2 del ECA de agua (Bebida de animales) y E2 – Ríos, pero, cumpliría el estándar para la categoría D1 (Riego de vegetales).

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 | 6.5 | 3.36 | - |
| Turbidez (laboratorio) | NTU | 5 | 5 | 1 | 1.7 | 1.2 | - |
| Alcalinidad Total | mg CaCO3/L | 5 | 4 | <LD | 174.3 | 84.8 | - |
| Conductividad (laboratorio) | uS/cm | 5 | 5 | 33 | 365 | 176.5 | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg/L | 5 | 5 | 20 | 234 | 114.6 | - |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg/L | 5 | 1 | <LD | 3 | NA | - |
| Cromo Hexavalente Total | mg Cr/L | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |

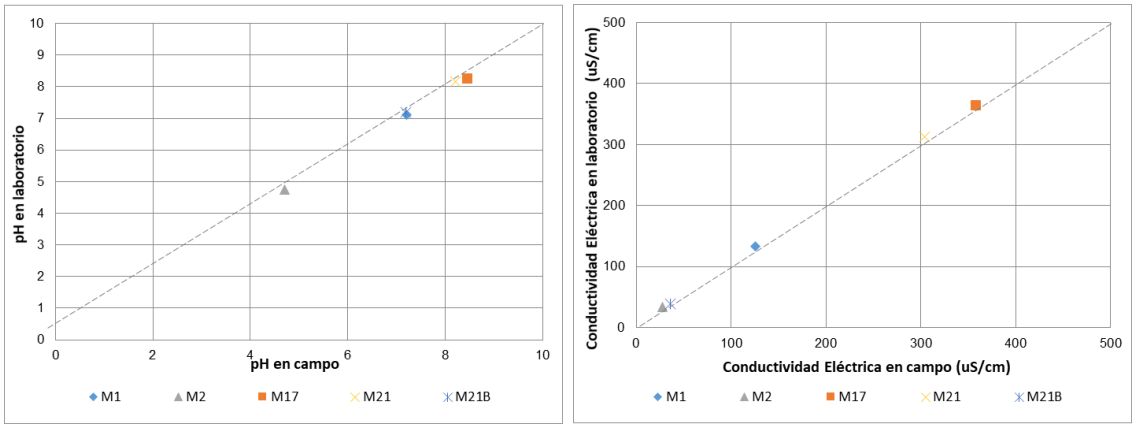
| Parámetro | Unidad | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede al ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Potencial de Hidrógeno (laboratorio) | pH | 5 | 5 | **4.75** | 8.25 | 7.09 | 1* |
| Amoníaco | mg NH3/L | 5 | 2 | <LD | 0.078 | NA | - |
| Fósforo Total | mg P/L | 5 | 1 | <LD | **0.062** | 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 | 3 | <LD | 8.4 | 6.0 | - |
| 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 | 1.1 | 2.85 | 2.0 | - |
| Conductividad (campo) | uS/cm | 5 | 5 | 27.4 | 358 | 170.2 | - |
| Temperatura | °C | 5 | 5 | 14.6 | 18.6 | 16.18 | - |
| Potencial de Hidrógeno (campo) | pH | 5 | 5 | **4.71** | **8.45** | 7.15 | 2 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5 | 5 | 4.85 | 8.44 | 6.70 | - |

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 1-A1, 3 y 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 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. Se registró una concentración de fósforo total (0.062 mg/L) en la estación M21, que excedería el valor de referencia indicado en el ECA (0.05 mg/L); este valor estaría relacionado al uso de fertilizantes, jabones o detergentes en actividades de terceros y en ocasiones a características del propio suelo.

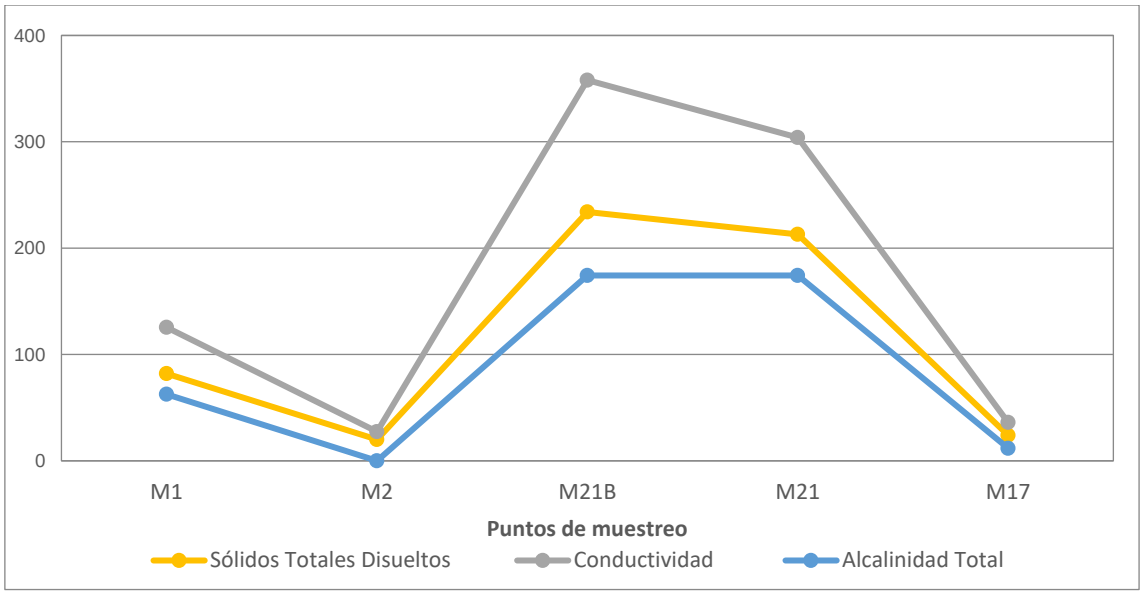
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 27.4 y 358 µS/cm, mientras que, los resultados de laboratorio varían entre 33 y 365 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.71 y 8.45 u.e., en tanto, los resultados de laboratorio indican valores entre 4.75 y 8.25 u.e. En la Figura 4-3, se muestra gráficamente la correlación existente entre los valores registrados en campo y laboratorio.

**Figura 4-3 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 3**




Como se muestra en la Figura 4-4, la alcalinidad, conductividad y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo.

**Figura 4-4 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 3**




### 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.

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones de muestreo cumplen con el ECA de agua respecto a las concentraciones de metales a excepción de una excedencia puntual en el punto de muestreo M2 (cobre).

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 | 4 | <LD | 0.329 | 0.114 | - |
| *Antimonio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Arsénico Total | 5 | 1 | <LD | 0.00155 | NA | - |
| *Bario Total | 5 | 5 | 0.0064 | 0.0184 | 0.0115 | - |
| *Berilio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Bismuto Total | 5 | 4 | <LD | 0.00026 | 0.000112 | - |
| *Boro Total | 5 | 3 | <LD | 0.063 | 0.0374 | - |
| *Cadmio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Cadmio Disuelto | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Calcio Total | 5 | 4 | <LD | 82.121 | 19.164 | - |
| Cerio Total | 5 | 1 | <LD | 0.00026 | NA | - |
| Cesio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Cobalto Total | 5 | 3 | <LD | 0.00174 | 0.00052 | - |
| *Cobre Total | 5 | 5 | 0.00265 | **0.11644** | 0.02787 | 1 |
| *Cromo Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Estaño Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Estroncio Total | 5 | 4 | <LD | 0.3064 | 0.0743 | - |
| Fósforo Total | 5 | 1 | <LD | 0.06 | NA | - |
| Galio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Germanio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Hafnio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Hierro Total | 5 | 5 | 0.0282 | 0.7433 | 0.2155 | - |
| Lantano Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Litio Total | 5 | 1 | <LD | 0.0013 | NA | - |
| Lutecio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Magnesio Total | 5 | 5 | 0.313 | 6.703 | 2.017 | - |
| *Manganeso Total | 5 | 5 | 0.00069 | 0.04879 | 0.02273 | - |
| *Mercurio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Molibdeno Total | 5 | 2 | <LD | 0.00089 | NA | - |
| Niobio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Níquel Total | 5 | 2 | <LD | 0.0021 | NA | - |
| Plata Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Plomo Total | 5 | 1 | <LD | 0.0006 | NA | - |
| Potasio Total | 5 | 5 | 0.19 | 0.54 | 0.374 | - |
| Rubidio Total | 5 | 2 | <LD | 0.0032 | NA | - |
| *Selenio Total | 5 | 1 | <LD | 0.0046 | NA | - |
| Silice Total | 5 | 5 | 2.98 | 7.56 | 5.43 | - |
| Silicio Total | 5 | 5 | 1.39 | 3.53 | 2.54 | - |
| Sodio Total | 5 | 5 | 0.183 | 4.137 | 1.6542 | - |
| *Talio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |

| Metales (mg/L) | Muestras analizadas | Concen. detectadas | Mínimo | Máximo | Media | Excede el ECA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tantalio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Teluro Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Thorio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Titanio Total | 5 | 1 | <LD | 0.0006 | NA | - |
| Uranio Total | 5 | 1 | <LD | 0.000215 | NA | - |
| Vanadio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Wolframio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| Yterbio Total | 5 | 0 | <LD | <LD | NA | - |
| *Zinc Total | 5 | 3 | <LD | 0.075 | 0.02828 | - |
| 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 antimonio, berilio, cadmio total y disuelto, mercurio y talio no fueron detectados en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como arsénico, litio, níquel, plomo y selenio 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 0.114 mg/L; variaron entre un valor mínimo de <LD (estación M21) y un valor máximo de 0.329 mg/L (estación M2). En todos los casos las concentraciones de aluminio total se encontraron muy por debajo del valor de referencia (5 mg/L) de la Categoría 3 y 4 del ECA de agua.

*Bario Total*

El bario total estuvo presente en la totalidad de las muestras analizadas relacionadas a la categoría 3 del ECA. Este metal varió en un rango de entre 0.0064 mg/L (estación M21B) y 0.0184 mg/L (estación M21), con un valor promedio de 0.0115 mg/L. 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 en el presente informe.

*Boro Total*

Se reportaron tres valores de boro total mayores al límite de detección del método de análisis. Las concentraciones reportadas variaron entre <LD (<0.006 mg/L) y 0.063 mg/L (estación M21B), sin embargo, todos estos valores se encontraron muy por debajo del nivel de referencia indicado en el ECA de agua (5 mg/L).

*Cobalto Total*

El cobalto fue detectado en tres puntos de muestreo relacionados a las categorías 3 y 4 del ECA, con un valor promedio de 0.00052 mg/L, en un rango que va desde un valor mínimo de <LD (<0.00003 mg/L) y un máximo de 0.00174 mg/L (estación M2). 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*

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron una concentración promedio de cobre total de 0.02787 mg/L, con un valor mínimo de 0.00265 mg/L en la estación M21, y un valor máximo de 0.11644 mg/L en la estación M2. Este último punto de muestreo mencionado, ubicado en la Quebrada Kerosene, se encontraría por debajo de los valores de referencia indicados en la categoría 3 del ECA, relacionado a la bebida de animales (0.5 mg/L) y riego de vegetales (0.2 mg/L); sin embargo, excedería ligeramente los 0.1 mg/L que indica el valor de referencia para la categoría 4 de la norma (Conservación del ambiente acuático: Ríos). Esta excedencia guardaría relación a la mineralización existente en la zona adyacente al punto de muestreo.

*Hierro Total*

Se obtuvo una concentración promedio de 0.2155 mg/L de hierro total, con valores que varían entre 0.0282 mg/L (estación M21) y 0.7433 mg/L (estación M2). Para todos los casos, las concentraciones halladas se encontraron por debajo del valor de referencia para hierro total de la categoría 3 del ECA (5 mg/L).

*Magnesio Total*

Se detectaron concentraciones de magnesio total en todas las estaciones muestreadas, cuyos valores variaron en un rango entre 0.313 mg/L (estación M2) y 6.703 mg/L (estación M17). Todas las estaciones cumplen con el valor de referencia de 250 mg/L indicado en la categoría 3 del ECA de agua.

*Manganeso Total*

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA de agua, presentaron concentraciones de manganeso total que varían entre 0.00069 mg/L (estación M21) y 0.04879 mg/L (estación M21B). Todas las concentraciones halladas se encontraron muy por debajo del valor de referencia de 0.2 mg/L indicado en la categoría 3 del ECA.

*Zinc Total*

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron concentraciones que varían entre 0.0038 mg/L (estación M1) y 0.0138 mg/L (estación M2). Para todos los casos, las concentraciones halladas cumplen con las categorías en mención del ECA de agua.

### 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 variaron entre <LD (<1.8 NMP/100 mL) y 2 NMP/100 mL (estación M17 y M21), donde para todos los casos se cumple con los niveles de referencia indicados en las categorías 3 y 4 del ECA de agua

Se analizó efectuó también 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.

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

## 4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1

El programa de monitoreo incluye un punto de muestreo asociado a la categoría 4-E1 del ECA de agua, el cual corresponde al punto M22 ubicado en la Laguna Mamacocha, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

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

En la Tabla 4-7, se presentan los resultados de estos parámetros y su comparación con los ECA de referencia.

**Tabla 4-7 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 4-E1**

| Punto | Descripción | pH | CE (µS/cm) | Oxígeno Disuelto (mg/L) | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas** | | **6.5 - 9.0** | **1000** | **≥ 5** | **Δ 3** | **-** |
| M22 | Laguna Mamacocha | **4.39** | 40.1 | 6.63 | 16 | 1.44 |

**Nota:**
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, 3 y 4)

El punto de muestreo M22, ubicado en la Laguna Mamacocha, presentó un valor de 4.39 de pH, el cual, se encuentra fuera del rango indicado en la categoría 4 del ECA. Este valor estaría asociado a la geología de la zona, ya que la Laguna Mamacocha se encuentra alrededor del área mineralizada.

Se registraron valores óptimos de conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, los cuales cumplen con los valores de referencia indicados en los ECA.

### 4.3.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-8, 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 4-8 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4-E1**

| Parámetro | Unidad | Punto M22 | Excede al ECA |
|---|---|---|---|
| Clorofila A | mg/L | <0.003 | - |
| Color Verdadero | UC | 1.4 | - |
| Turbidez (laboratorio) | NTU | 0.8 | - |
| Alcalinidad Total | mg CaCO3/L | 5.2 | - |
| Conductividad | uS/cm | 41.9 | - |
| Sólidos Totales Disueltos | mg/L | 25 | - |
| Sólidos Totales en Suspensión | mg/L | <3 | - |
| Cromo Hexavalente Total | mg Cr/L | <0.003 | - |
| Potencial de Hidrógeno (laboratorio) | pH | **4.79** | Si* |
| Amoníaco | mg NH3/L | 0.018 | - |
| Nitrógeno Total | mg N/L | 0.33 | - |
| Fósforo Total | mg P/L | <0.010 | - |

| Parámetro | Unidad | Punto M22 | Excede al ECA |
|---|---|---|---|
| Sulfuro | mg/L | <0.002 | - |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L | <2.6 | - |
| Aceites y Grasas | mg/L | <0.4 | - |
| Cianuro libre | mg/L | <0.0008 | - |
| Fenoles | mg/L | <0.0005 | - |

**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, Categoría 4-E1)
* 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, en el punto M22 no se detectaron concentraciones de clorofila A, sólidos totales suspendidos, cromo hexavalente, fósforo total, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, cianuro libre y fenoles. 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.

Según los resultados obtenidos, existe una muy buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Asimismo, las concentraciones de sólidos totales disueltos guardan una excelente correlación con la conductividad, evidenciando que a mayor STD existe una mayor conductividad eléctrica.

### 4.3.3 Metales de interés ambiental

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones de muestreo cumplen con categoría 4 ECA de agua respecto a las concentraciones de metales.

En la Tabla 4-9, 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 4-9 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 4-E1**

| Metales (mg/L) | Punto M22 | Excede al ECA |
|---|---|---|
| Aluminio Total | 0.854 | - |
| *Antimonio Total | <0.00013 | - |
| *Arsénico Total | <0.00010 | - |
| *Bario Total | 0.0046 | - |
| Berilio Total | <0.00006 | - |
| Bismuto Total | 0.00012 | - |
| Boro Total | <0.006 | - |
| Cadmio Total | <0.00003 | - |
| Cadmio Disuelto | <0.00003 | - |
| Calcio Total | 3.41 | - |
| Cerio Total | <0.00024 | - |
| Cesio Total | <0.0003 | - |
| Cobalto Total | 0.00126 | - |
| *Cobre Total | 0.00519 | - |

| Metales (mg/L) | Punto M22 | Excede al ECA |
|---|---|---|
| Cromo Total | <0.0003 | - |
| Estaño Total | <0.00010 | - |
| Estroncio Total | 0.0228 | - |
| Fósforo Total | <0.047 | - |
| Galio Total | <0.00012 | - |
| Germanio Total | <0.0006 | - |
| Hafnio Total | <0.00015 | - |
| Hierro Total | 0.2358 | - |
| Lantano Total | <0.0015 | - |
| Litio Total | 0.001 | - |
| Lutecio Total | <0.00006 | - |
| Magnesio Total | 0.572 | - |
| Manganeso Total | 0.03834 | - |
| *Mercurio Total | <0.00009 | - |
| Molibdeno Total | <0.00006 | - |
| Niobio Total | <0.0015 | - |
| *Niquel Total | 0.0033 | - |
| Plata Total | <0.000010 | - |
| *Plomo Total | 0.0007 | - |
| Potasio Total | 0.65 | - |
| Rubidio Total | 0.0025 | - |
| *Selenio Total | <0.0013 | - |
| Silice Total | <0.27 | - |
| Silicio Total | <0.13 | - |
| Sodio Total | 4.529 | - |
| *Talio Total | 0.00006 | - |
| Tantalio Total | <0.0021 | - |
| Teluro Total | <0.003 | - |
| Thorio Total | <0.00019 | - |
| Titanio Total | <0.0006 | - |
| Uranio Total | <0.000010 | - |
| Vanadio Total | <0.0003 | - |
| Wolframio Total | <0.0006 | - |
| Yterbio Total | <0.00006 | - |
| *Zinc Total | 0.0382 | - |
| Zirconio Total | <0.00045 | - |

**Notas:**
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 4-E1
<LD: Menor al Límite de Detección

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-9, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como antimonio, arsénico, mercurio y selenio no estuvieron presentes en la Laguna Mamacocha. Los metales presentes tales como bario, cobre, níquel, plomo, talio y zinc se encontraron en bajas concentraciones y ninguno de ellos superó el valor de referencia indicado en la categoría 4-E1 del ECA de agua.

### 4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Se efectuó el análisis de coliformes fecales en el punto de muestreo de la Laguna Mamacocha; donde no se detectaron concentraciones de coliformes, ya que se reportó una concentración <LD (<1.8 NMP/100 mL), por lo cual se cumpliría con el estándar indicado en la categoría 4 del ECA de agua (1000 NMP/100 mL).

## 4.4 Agua Subterránea

De acuerdo con lo indicado en la Tabla 2-1, la campaña de monitoreo realizada en la Zona I incluye el muestreo de los principales constituyentes de la calidad del agua del Piezómetro artesiano en Hierbabuena (P11). Debido a que la normativa peruana no cuenta con estándares de calidad para agua subterránea, para fines representativos, estos son comparados referencialmente con la categoría 3 del ECA de agua.

La muestra de agua subterránea analizada presentó una moderada a alta concentración de sólidos totales disueltos (292 mg/L) y una conductividad eléctrica medida en campo de 408 S/cm. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.77) y una baja concentración de oxígeno disuelto (4.07 mg/L).

Los análisis de laboratorio realizados indican que estas aguas contienen trazas de metales como antimonio, arsénico, bario, bismuto, boro, calcio, cobre, estroncio, hierro, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, plomo, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio y zinc. Los metales mencionados anteriormente se encuentran en formas de trazas y en concentraciones muy bajas, que al ser comparados de manera referencial con la categoría 3 del ECA de agua, cumplen la normativa en todos los casos. El resto de los metales analizados se encontraron por debajo del límite de detección del método empleado.

En el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de laboratorio de la estación P11.

## 4.5 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona I

En la Tabla 4-10, se presenta el resumen de excedencias de las 19 muestras enviadas al laboratorio, procedentes de la Zona I.

**Tabla 4-10 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 | | | |
| M9B | 1-A1 | | | | Organismo de Vida Libre Algas | |
| M9C | 1-A1 | | X | | Organismo de Vida Libre Algas | |
| M9D | 1-A1 | | X | | Organismo de Vida Libre Algas | |
| S12 | 1-A1 | | | DBO | Organismo de Vida Libre Algas | |
| S12B | 1-A1 | | | | Organismo de Vida Libre Algas | |
| S22 | 1-A1 | | | | Organismo de Vida Libre Algas, Rotíferos | |

| Estación | Categoría Aplicable* | Parámetros que exceden los ECA de Referencia | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *In-Situ* | | Fisicoquímicos | Microbiológicos | Metales Totales |
| | | pH** | OD | | | |
| S22C | 1-A1 | | X | | Organismo de Vida Libre Algas, Protozoarios | |
| S23 | 1-A1 | | | | | |
| S24T | 1-A1 | | | | | |
| S30A | 1-A1 | X | | | | Al, Fe |
| S32A | 1-A1 | X | X | | | |
| S34 | 1-A1 | X | X | | | Fe |
| M1 | 3 y 4 | | X | | | |
| M2 | 3 y 4 | X | | | | Cu |
| M17 | 3 y 4 | X | | | | |
| M21 | 3 y 4 | | | Fósforo Total | | |
| M21B | 3 y 4 | | | | | |
| M22 | 4-E1 | X | | | | |
| P11 | A. Sub. | | | | | |

**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.
A. Sub.: Agua Subterránea

## 4.6 Evaluación Hidroquímica

Respecto a la química de los iones principales, en la Tabla 4-11 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.

**Tabla 4-11 Concentración de Iones Principales en la Zona I**

| Punto | Cationes (meq/L) | | | | | | Aniones (meq/L) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $Al^{+3}$ | $Fe^{+3}$ | $HCO_3^{-}$ | $CO_3^{-2}$ | $Cl^{-}$ | $F^{-}$ | $SO_4^{-2}$ | $N\text{-}NO_3^{-}$ |
| **M9B** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.756 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.021 | 0.001 |
| **M9C** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.542 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.112 | 0.000 |
| **M9D** | 0.844 | 0.065 | 0.005 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 1.078 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.142 | 0.000 |
| **S12** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.091 | 0.028 | 0.010 | 0.001 | 0.377 | 0.015 |
| **S12B** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.577 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.045 | 0.006 |
| **S22** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.206 | 0.007 | 0.045 | 0.001 | 0.657 | 0.018 |
| **S22C** | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.235 | 0.003 | 0.007 | 0.000 | 0.043 | 0.002 |
| **S23** | 2.545 | 0.258 | 0.008 | 0.052 | 0.000 | 0.001 | 2.142 | 0.012 | 0.002 | 0.001 | 0.195 | 0.002 |
| **S24T** | 3.876 | 0.201 | 0.000 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 3.754 | 0.026 | 0.004 | 0.002 | 0.207 | 0.038 |
| **S30A** | 0.071 | 0.012 | 0.009 | 0.019 | 0.076 | 0.018 | 0.058 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.040 | 0.001 |
| **S32A** | 0.151 | 0.014 | 0.000 | 0.052 | 0.003 | 0.000 | 0.160 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.023 | 0.016 |

| Punto | Cationes (meq/L) | | | | | | Aniones (meq/L) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $Al^{+3}$ | $Fe^{+3}$ | $HCO_3^{-}$ | $CO_3^{-2}$ | $Cl^{-}$ | $F^{-}$ | $SO_4^{-2}$ | $N\text{-}NO_3^{-}$ |
| **S34** | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.137 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.021 | 0.018 |
| **M1** | 0.570 | 0.161 | 0.006 | 0.021 | 0.000 | 0.001 | 1.042 | 0.002 | 0.006 | 0.000 | 0.291 | 0.000 |
| **M2** | 0.000 | 0.022 | 0.010 | 0.006 | 0.031 | 0.014 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.093 | 0.004 |
| **M17** | 2.925 | 0.529 | 0.008 | 0.144 | 0.002 | 0.002 | 2.839 | 0.130 | 0.010 | 0.002 | 0.376 | 0.072 |
| **M21** | 0.055 | 0.030 | 0.004 | 0.079 | 0.000 | 0.000 | 2.868 | 0.073 | 0.016 | 0.002 | 0.247 | 0.011 |
| **M21B** | 0.008 | 0.049 | 0.007 | 0.030 | 0.002 | 0.002 | 0.196 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.138 | 0.003 |
| **M22** | 0.151 | 0.037 | 0.012 | 0.119 | 0.000 | 0.000 | 0.087 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.135 | 0.000 |
| **P11** | 2.046 | 1.173 | 0.018 | 1.287 | 0.000 | 0.004 | 3.829 | 0.035 | 0.007 | 0.003 | 0.257 | 0.018 |

**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.

Al realizar la suma de cationes y aniones, se puede evidenciar que se presenta un imbalance de cargas en once (11) de los 19 puntos totales evaluados, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

### Tabla 4-12 Sumatoria de cationes y aniones principales en la Zona I

| Punto | ∑ Cationes (meq/L) | ∑ Aniones (meq/L) | Error de balance (%) |
|---|---|---|---|
| **M9B** | 0.000 | 0.781 | **-100.00** |
| **M9C** | 0.000 | 0.657 | **-100.00** |
| **M9D** | 0.923 | 1.223 | -13.96 |
| **S12** | 0.000 | 2.522 | **-100.00** |
| **S12B** | 0.000 | 0.633 | **-100.00** |
| **S22** | 0.000 | 1.933 | **-100.00** |
| **S22C** | 0.000 | 1.290 | **-100.00** |
| **S23** | 2.864 | 2.354 | 9.76 |
| **S24T** | 4.141 | 4.030 | 1.36 |
| **S30A** | 0.206 | 0.102 | **33.90** |
| **S32A** | 0.220 | 0.201 | 4.46 |
| **S34** | 0.007 | 0.177 | **-92.47** |
| **M1** | 0.759 | 1.342 | **-27.76** |
| **M2** | 0.082 | 0.101 | -10.46 |
| **M17** | 3.609 | 3.427 | 2.58 |
| **M21** | 0.168 | 3.216 | **-90.05** |
| **M21B** | 0.098 | 0.342 | **-55.24** |
| **M22** | 0.319 | 0.226 | 17.00 |
| **P11** | 4.529 | 4.148 | 4.39 |

Hem (1985) estableció que errores de carga son inevitables algunas veces cuando el total de cationes y aniones es menor que 5 meq/L, por tanto, cuanto más pequeño el total de iones presentes en la muestra, mayor es la probabilidad de obtener imbalances de carga

Tal como se muestra en la tabla anterior, se tienen errores porcentuales de carga que superan las desviaciones estándar de < ± 20%, esto principalmente debido a que, según los resultados obtenidos en laboratorio, las muestras M9B, M9C, S12, S12B, S22 y S22C no presentaron valores cuantificables de cationes, por lo que la sumatoria de aniones es siempre mayor. Es preciso señalar que, para estos puntos, no es posible desarrollar una descripción de las características de sus iones principales, por tanto, para fines de clasificar las aguas de la Zona I, las aguas evaluadas que presenten un error porcentual mayor que el aceptable (< ± 20%) serán clasificadas de acuerdo a lo indicado en el Informe de Monitoreo Semestral de Calidad de Agua – Temporada Seca 2022, el cual a su vez guarda relación con lo descrito en los informes previos.

**Tabla 4-13 Resumen de Tipos de Agua en la Zona I del Proyecto**

| Estación | Catión predominante | Anión predominante | Tipo de Agua | Denominación |
|---|---|---|---|---|
| **M9B*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **M9C*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **M9D** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S12*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S12B*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S22*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S22C*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S23** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S24T** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S30A*** | Al | $SO_4$ | Al-$SO_4$ | Sulfatada Alumínica |
| **S32A** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **S34*** | Ca - Al | $SO_4$ | Ca-Al-$SO_4$ | Sulfatada Mixta |
| **M1*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **M2** | Al - Mg | SO4 | Al-Mg-$SO_4$ | Sulfatada Mixta |
| **M17** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **M21*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **M21B*** | Ca | $HCO_3$ | Ca-$HCO_3$ | Bicarbonatada Cálcica |
| **M22** | Ca - Na | $SO_4$ | Ca-Na-$SO_4$ | Sulfatada Mixta |
| **P11** | Ca – Mg - Na | $HCO_3$ | Ca-Mg-Na-$HCO_3$ | Bicarbonatada Mixta |

**Notas:**
*La caracterización hidroquímica corresponde a lo indicado en el Informe de Monitoreo Semestral de Calidad de Agua – Temporada Seca 2022

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 4-13, los tipos químicos de agua identificados en la Zona I son los siguientes:

- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en catorce (14) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: S12, S12B, S22C, S22, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una baja a alta concentración de STD (45 a 234 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (34.7 a 174.3 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (7.17 a 8.45). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (11 a 82 mg/L), baja alcalinidad (3.5 a 64.7 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (6.15 – 7.55). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

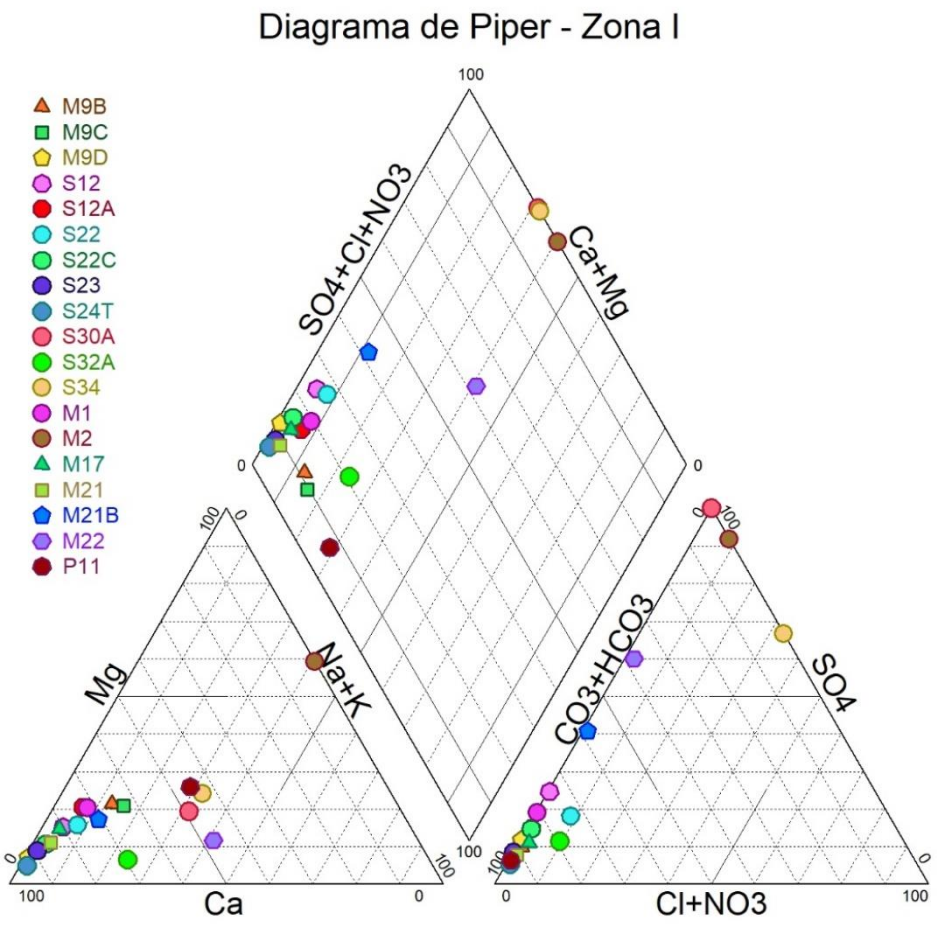
- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra S30A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (38 mg/L), una alcalinidad muy baja (3.5 mg CACO3/L), y un pH ácido (4.02). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Bicarbonatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra P11. Está caracterizada por presentar una alta concentración de STD (292 mg/L), una elevada alcalinidad (230.8 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.76). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio, magnesio y sodio.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34, M2 y M22. 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 calcio, aluminio, magnesio y sodio. Presentan un pH ácido (4.39 a 6.23), alcalinidad nula a muy baja (<LD a 8.2 mg CACO3/L), baja concentración de STD (15 a 25 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<40.1 uS/cm).

En la Figura 4-5 se presenta un diagrama de Piper que resume gráficamente los comentarios descritos.

**Figura 4-5 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona I**




**Nota:**
La caracterización hidroquímica de los puntos M9B, M9C, S12, S12B, S22, S22C, S30A, S34, M1, M21 y M21B corresponde a lo indicado en el Informe de Monitoreo Semestral de Calidad de Agua – Temporada Seca 2022

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

Para la evaluación de calidad de agua se considera el registro de parámetros de campo en veinticuatro (24) puntos de muestreo adicionales en la Zona I del Proyecto. Para la evaluación de los resultados de campo, los puntos evaluados se clasifican de acuerdo a su uso, de esta forma se tienen trece (13) puntos asociados a la categoría 1-A1 del ECA, nueve (9) puntos asociados a la categoría 3, y dos (2) puntos relacionados a la categoría 4 del ECA de agua. 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 1-A1** | | **6.5 - 8.5** | **1500** | **≥ 6** | **Δ 3** | **5** |
| S1 | Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S2 | Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S3 | Manantial El Moro - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S4 | Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S5 | Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S6 | Manantial El Suro - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S7 | Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S8 | Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S9 | Manantial Sin Nombre | Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves. | | | | |
| S30B | Captación ACD Sogorón Alto | **6.03** | 3.5 | 6.99 | 12.5 | 1.01 |
| S30C | Captación ACD Sogorón Alto | **3.89** | 45.1 | 6.28 | 12.0 | 0.34 |
| S30D | Captación ACD Sogorón Alto | **4.23** | 38.4 | **4.88** | 12.6 | 0.87 |
| S34B | Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal) | Ausencia de llaves. | | | | |
| **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** | **-** |
| S20A | Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez) | Ausencia de llaves | | | | |
| S20B | Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas) | 7.26 | 386.0 | **4.73** | 14.0 | 0.44 |
| S21A | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano) | Flujo mínimo | | | | |
| S21B | Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano) | 7.24 | 270.0 | **4.16** | 13.2 | 1.97 |
| S21C | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano) | **5.57** | 31.0 | 6.08 | 12.8 | 2.32 |
| S21D | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano) | **5.49** | 29.4 | 5.65 | 12.4 | 1.95 |
| S21E | Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera) | **6.01** | 39.4 | 6.42 | 13.8 | 1.25 |
| S34A | Captación de agua para riego en El Pedregal | Ausencia de llaves | | | | |
| M37 | Bofedal Pajablanca | **5.39** | 25.6 | **3.22** | 13.8 | 1.07 |
| **ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas** | | **6.5 - 9.0** | **1000** | **≥ 5** | **Δ 3** | **-** |
| M5 | Laguna Kerosene | **5.22** | 4.3 | 6.00 | 16.5 | 1.68 |
| M4 | Laguna Cama de los Shingos | **4.61** | 9.3 | 5.61 | 21.4 | 0.76 |

**Nota:** 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, 3 y 4)

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 5-1, los puntos de evaluación poseen las siguientes características:

## 5.1 Aguas relacionadas a la Categoría 1-A1 del ECA

No fue posible evaluar las aguas relacionadas al proyecto PIASAA (S1 al S9) y El Pedregal (S34B), debido a que no se contó con la presencia de la autoridad, por lo tanto, no se contó con acceso para realizar los muestreos. En los puntos ubicados en Sorgón Alto, asociados a las captaciones de agua para consumo doméstico, se registraron valores de pH que se encontraron fuera del rango de referencia del ECA. Como se indicó en capítulos previos, estos valores ácidos de pH estarían relacionados a la mineralización de la zona en la que se ubican las fuentes de captación de agua.

La conductividad eléctrica varió entre 3.5 y 45.1 µS/cm, mientras que, la turbidez varió en un rango entre 0.34 y 1.01 NTU; para todos estos casos los resultados cumplieron el ECA. En relación al oxígeno disuelto, los registros en Sorgón Alto cumplieron con el valor mínimo recomendado en el ECA de agua, a excepción del punto S30D cuyo valor estaría relacionado al almacenamiento de las aguas.

## 5.2 Aguas relacionadas a la Categoría 3 del ECA

Los valores de pH registrados en los cuerpos de agua relacionados al riego de vegetales y consumo de animales variaron entre valores ácidos y neutros, en un rango de 5.49 y 7.26. El pH en los puntos S21C, S21D y S21E y M37 se encontró por debajo del límite inferior de la categoría 3 del ECA; estos resultados estarían relacionados a la mineralización existente en la zona.

La conductividad eléctrica varió entre 29.4 y 386 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.44 y 2.32 NTU; para todos estos casos los resultados cumplieron el ECA. El oxígeno disuelto, para todos los casos, cumplió el valor mínimo establecido en los ECA, a excepción de los puntos S20B, S21B y M37 cuyos valores estarían relacionados al posible estancamiento de las aguas, lo que genera un déficit de aireación y oxigenación.

## 5.3 Aguas relacionadas a la Categoría 4 del ECA

Las lagunas Kerosene (M5) y Cama de los Shingos (M4), presentaron valores de pH de 5.22 y 4.61 respectivamente, los cuales se encontrarían por debajo del rango establecido en los ECA, y estarían asociados a la mineralización del lugar. En estas dos lagunas se registraron valores bajos de conductividad eléctrica, concentraciones aceptables de oxígeno disuelto y niveles de turbidez bajos, los cuales cumplirían los ECA para ambos casos.

# 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-campo2), tomada junto a la estación S22C, evidencia un buen control de calidad en el transporte, ya que todas las concentraciones fueron registradas como menores al límite de detección (<LD).

Respecto a los resultados de la muestra de blanco viajero (BK-viajero), indican que todos los parámetros se reportaron como menores al límite de detección (<LD), a excepción de una pequeña traza de sulfato (0.03 mg/L), sin embargo, al ser esta una concentración relativamente pequeña, no implica una alteración de la confiabilidad del muestreo.

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

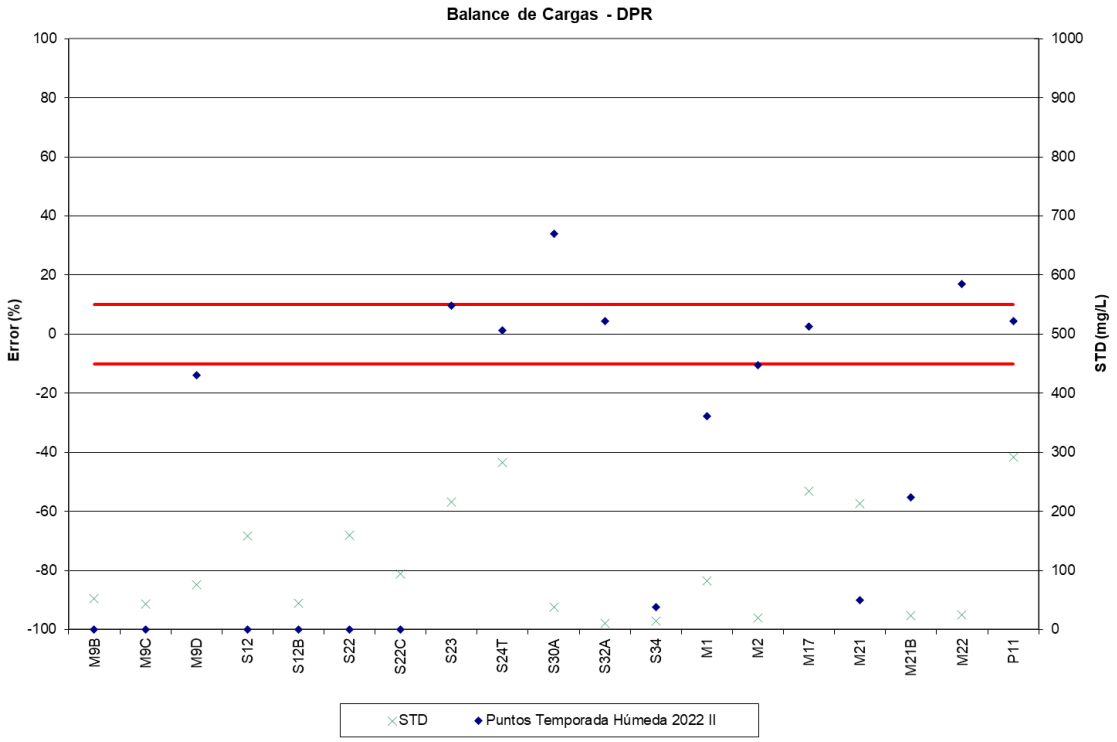
**$\Sigma m_a$**: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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 existen puntos de evaluación que se alejan del porcentaje de error aceptable. Esto principalmente debido a que, según los resultados obtenidos en laboratorio, las muestras M9B, M9C, S12, S12B, S22 y S22C no presentaron valores cuantificables de cationes, por lo que la sumatoria de aniones es siempre mayor.

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

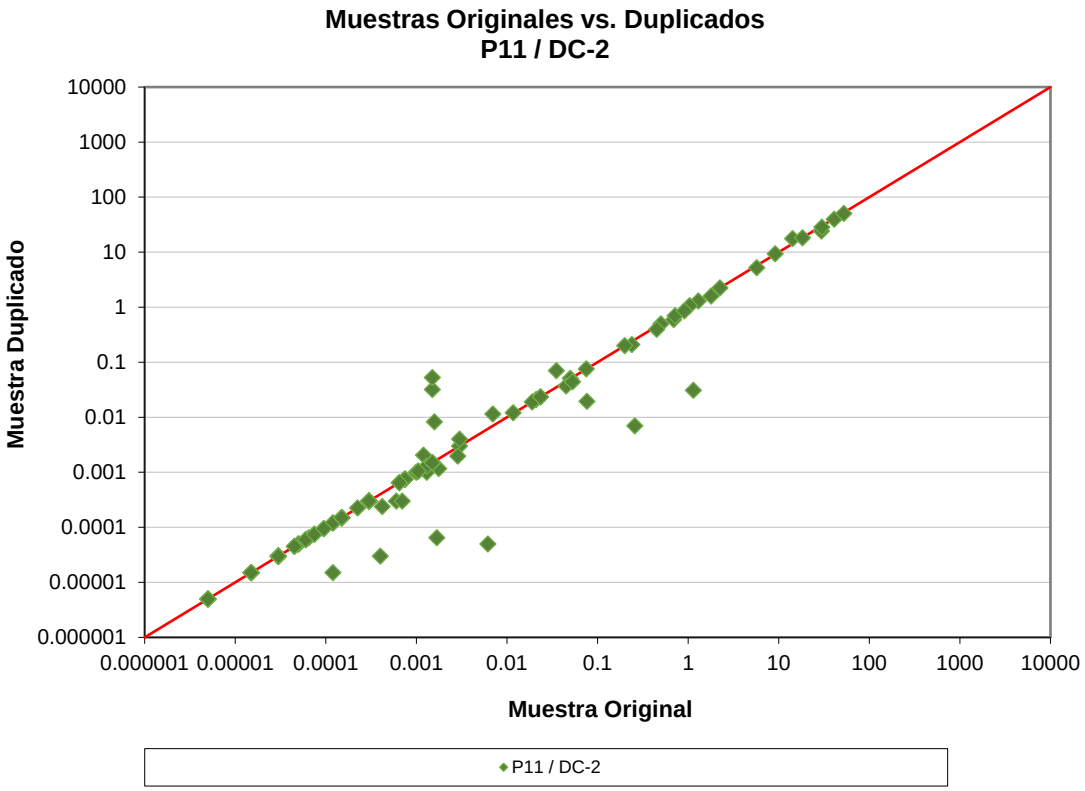



## 6.3 Análisis de duplicados

Durante el muestreo de la Zona I, se generó una muestra duplicada (DC-2) del punto P11, cuyos resultados son presentados en el Anexo A.

En la Figura 6-2, se muestra una gráfica que relaciona los resultados de las muestras analizadas P11 y DC-2. La gráfica evidencia que la mayoría de los puntos de intersección de las concentraciones de ambas muestras (original y duplicado), se encuentran cercanas a la recta de 45° y, por lo tanto, cumplen con el criterio de control de calidad utilizado.

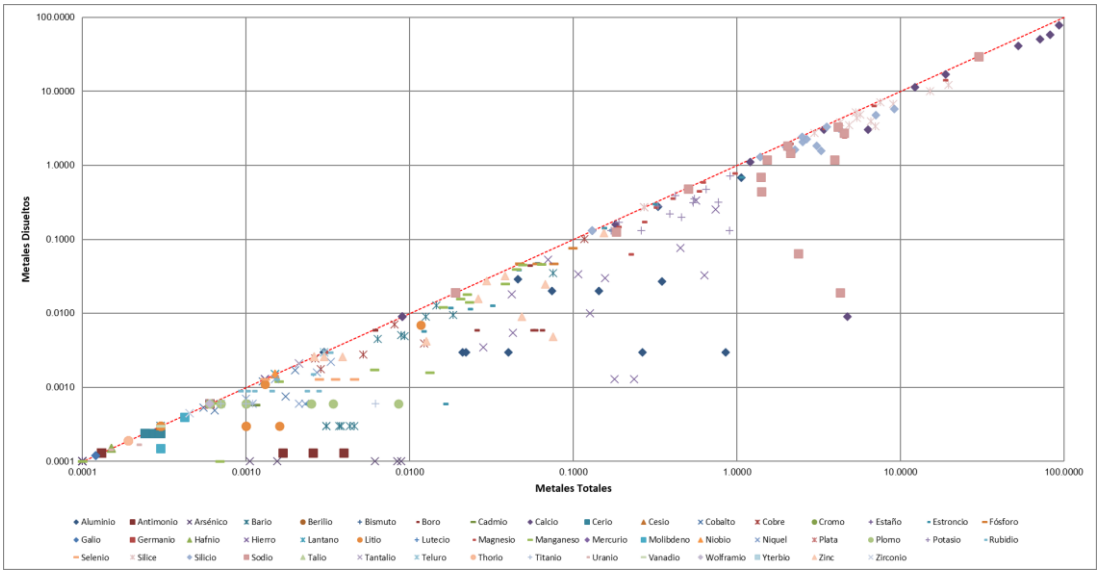
**Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados**




## 6.4 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 6-3, se puede verificar que las concentraciones de metales disueltos son menores a las concentraciones de sus pares de metales totales.

**Figura 6-3 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 excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S30A, S32A y S34; estas aguas proceden de la misma ubicación geográfica y las características de acidez estarían relacionadas con la geología de la zona. El oxígeno disuelto, en los puntos M9C, M9D, S22C, S32A y S34, se encontró por debajo del valor mínimo de referencia indicado en los ECA para la Categoría 1-A1; estos valores bajos de oxígeno disuelto estarían asociados al estancamiento y confinamiento de las aguas, debido a que estos corresponden a tanques de almacenamiento para el aprovechamiento humano. La muestra S12 presenta una excedencia de DBO respecto al ECA de agua, la cual podría estar relacionada a la presencia de partículas de materia orgánica en la muestra recogida.

Se presentaron excedencias en hierro en los puntos S30A y S34, con concentraciones de 0.5622 mg/L y 0.6337 mg/L respectivamente. La presencia de hierro en este estos puntos es recurrente de acuerdo a los monitoreos realizados con anterioridad, y estaría asociado a la mineralización de la zona adyacente a la fuente de agua. Asimismo, la estación S30A también presentó una excedencia en aluminio total respecto a los ECA, la cual estaría también relacionada a la mineralización presente en la zona.

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones M9B, M9C, M9D, S12, S12B, S22 y S22C en una proporción que varía entre 14 y 508 organismos/L. Además, en la estación S22, se detectaron organismos de vida libre en una proporción de 212 organismos/L, en forma de algas (208 organismos/L) y rotíferos (4 organismos/L), mientras que la estación S22C presentó organismos de vida libre en una proporción de 40 organismos/L, en forma de algas (30 organismos/L) y protozoarios (10 organismos/L). 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. De manera similar, la presencia de rotíferos y protozoarios está asociada a la presencia de algas, ya que estos se alimentan de ellas. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua y se debe comunicar a quien corresponda para su mantenimiento.

Para todos los demás parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, y parámetros microbiológicos, en todas las estaciones se cumplieron los ECA para la categoría 1-A1.

En relación a los trece (13) puntos donde solo se efectúa la evaluación de parámetros de campo, como se indicó en capítulos previos, no se pudo realizar el monitoreo programado en las estaciones del proyecto PIASAA y El Pedregal, debido a que no se contó con llaves para el acceso al lugar ya que la autoridad no estuvo presente. Por tanto, solo fue posible evaluar los puntos ubicados en Sorgón Alto (S30C y S30D), cuyos resultados indican un pH ácido que excedió el ECA correspondiente. Estos valores de pH que excederían el ECA, estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. Además, el oxígeno disuelto en el punto S30D se encontraría por debajo del valor indicado en el ECA, y este valor bajo estaría relacionado al estancamiento de las aguas producto del almacenamiento de estas. Para todos los demás parámetros de campo, tales como conductividad eléctrica y turbidez se cumplieron con los valores de la categoría 1-A1 de los ECA.

- *Aguas Categoría 3:*

Se presentaron dos excedencias en pH en los puntos M2 y M17, donde se obtuvieron valores ácidos y alcalinos respectivamente, los cuales incumplirían el ECA de agua. No obstante, los valores de pH registrados en los puntos mencionados, localizados en la Quebrada Chamcas y la Río Grande, guardarían relación a las propias características geológicas del lugar. Asimismo, en el punto M2, se detectó una concentración de cobre total que cumpliría el ECA categoría 3, pero que superaría el valor de referencia indicado en la categoría 4-E2 del ECA (Ríos). Este punto localizado en la Quebrada Kerosene se ubica alrededor de la zona mineralizada, lo cual explicaría la presencia de trazas de cobre.

Por otro lado, la estación M1 ubicada en la Quebrada Chamcas, presentó un valor de oxígeno disuelto que se encontraría ligeramente por debajo del valor mínimo indicado en los ECA; si bien en algunas evaluaciones previas se han reportado valores similares, este estaría asociado al bajo nivel de caudal el cual genera zonas de empozamiento y no permite una adecuada aireación y oxigenación de las aguas.

En la estación M21 se reportó una excedencia respecto al ECA en fósforo total. Es preciso señalar que, en los cursos de agua, la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes procedentes de actividades de terceros, y en oportunidades a características propias del suelo.

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

En relación a los nueve (9) puntos donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo, se presentaron valores de pH ligeramente ácidos que incumplirían la categoría 3 del ECA, en los puntos de muestreo S21C, S21D, S21E y M37, los cuales, por su ubicación y cercanía a la zona mineralizada, generan estos valores de acidez. El oxígeno disuelto, se encontró por debajo del valor de referencia indicado en los ECA, en los puntos S20B, S21B y M37; para todos los demás puntos de muestreo, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y turbidez, cumplen con los ECA.

- *Aguas Categoría 4:*

El punto M22 ubicado en la Laguna Mamacocha presentó un valor de 4.39 de pH, el cual se encuentra fuera del rango establecido en la categoría 4 del ECA. A excepción del pH, el agua de la muestra analizada presentó una buena calidad y cumplió todos los valores de referencia indicados en la categoría 4-E1 del ECA de agua.

Los valores ácidos de pH identificados en esta categoría estarían influenciados por la geología de la zona en donde se ubica la estación de monitoreo M22, ya que esta laguna se encuentra rodeada de un área mineralizada.

En relación a los dos (2) puntos donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo, el pH en la Lagunas Cama de los Shingos (M4) y Laguna Kerosene (M5) fue ligeramente ácido, excediendo el límite inferior del rango de referencia de la categoría 4 del ECA de agua. Por otro lado, la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez, cumplieron con la categoría 4 de los ECA para los puntos evaluados.

- *Agua Subterránea:*

La muestra de agua subterránea analizada (P11) presentó una moderada a alta concentración de sólidos totales disueltos (292 mg/L) y una conductividad eléctrica de 408 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.76) y una baja concentración de oxígeno disuelto (4.07 mg/L), lo cual es un indicador normal en aguas subterráneas.

Al comparar de manera referencial los resultados de laboratorio de la muestra de agua subterránea con la categoría 3 de los ECA de agua, todos los parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, metales y parámetros microbiológicos cumplieron con la norma.

- *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 catorce (14) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: S12, S12B, S22C, S22, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una baja a alta concentración de STD (45 a 234 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (34.7 a 174.3 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (7.17 a 8.45). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (11 a 82 mg/L), baja alcalinidad (3.5 a 64.7 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (6.15 – 7.55). 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 S30A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (38 mg/L), una alcalinidad muy baja (3.5 mg CACO3/L), y un pH ácido (4.02). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Bicarbonatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra P11. Está caracterizada por presentar una alta concentración de STD (292 mg/L), una elevada alcalinidad (230.8 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.76). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio, magnesio y sodio.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34, M2 y M22. 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 calcio, aluminio, magnesio y sodio. Presentan un pH ácido (4.39 a 6.23), alcalinidad nula a muy baja (<LD a 8.2 mg CACO3/L), baja concentración de STD (15 a 25 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<40.1 uS/cm).

En base al análisis de control de calidad, es posible indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento y transporte, no han generado algún tipo de distorsión y/o error significativo que pueda generar una alteración relevante de los resultados obtenidos. Sin embargo, al efectuar el balance iónico si se evidenciaron desviaciones considerables en los errores de balance de cargas, lo cual podría estar asociado a procesos de especiación química durante el periodo entre el muestreo y el análisis en el laboratorio; por tanto, es importante tener en consideración las aplicaciones interpretativas de dichos resultados.

# 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.

Hem, J. D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geological Survey Water – Supply Paper 2254, 263 pp.

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.