PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA SECA 2024

INFORME ZONA II

Revisión 0

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.

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

Santiago de Surco - Perú

T. (511) 616-3500

F. (511) 616-3525

Preparado por:

ING. ALICIA ROMERO

Especialista Ambiental Senior

CIP 44433

LIMA, AGOSTO 2024

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 5

1.1 Introducción 5

1.2 Participación de la población local 5

2 METODOLOGÍA 6

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo 6

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra 6

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

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales 7

2.3 Recolección de datos de campo 13

2.3.1 Toma de muestras 13

2.3.2 Medición de caudales 13

2.4 Análisis de laboratorio 14

2.5 Criterios para el análisis de resultados 14

2.6 Control de calidad 14

3 MEDICIÓN DE CAUDALES 16

4 RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA 17

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

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

4.1.2 Parámetros fisicoquímicos 17

4.1.3 Metales de interés ambiental 18

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 20

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

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

4.2.2 Parámetros fisicoquímicos 21

4.2.3 Metales de interés ambiental 22

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 26

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

4.4 Evaluación Hidroquímica 27

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

6 RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD 32

6.1 Blanco viajero y blanco de campo 32

6.2 Balance de cargas 32

6.3 Comparación entre metales totales y disueltos 33

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35

8 REFERENCIAS 37

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona II 6
Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona II 6
Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría 7
Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial 9
Tabla 3-1 Caudales registrados en campo 16
Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 1-A1 17
Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 17
Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1 18
Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4 21
Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 21
Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4 23
Tabla 4-7 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial 26
Tabla 4-8 Concentración de Iones Principales en la Zona II 27
Tabla 4-9 Resumen de Tipos de Agua en la Zona II del Proyecto 29
Tabla 5-1 Resultados *in-situ* en los puntos de muestreo con solo registro de parámetros de campo 31

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo 13
Figura 4-1 Distribución de la carga catiónica total en las estaciones de la Zona II 28
Figura 4-2 Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona II 28
Figura 4-3 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona II 30
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona II 33
Figura 6-2 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos 34

LISTA DE MAPAS

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

Mapa 2.2 Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de solo parámetros de campo
Mapa 4.1 Mapa de tipos químicos de agua

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Resultados de análisis de laboratório
Anexo B Memoria fotográfica
Anexo C Actas de participación
Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo
Anexo E Fichas de información de campo
Anexo F Registros de aforo
Anexo G Cadenas de Custodia
Anexo H Informes de ensayo de laboratório
Anexo I Certificados de calibración

1 Introducción

1.1 Introducción

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

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

El presente informe muestra los resultados de la campaña de monitoreo semestral de calidad de aguas en la Zona II (Microcuenca de la Quebrada Chanche) del Proyecto El Galeno. Los monitoreos efectuados corresponden a la temporada seca 2024, y fueron desarrollados del 12 al 27 de junio del 2024. Las áreas de trabajo de la Zona II incluyeron las quebradas Chanche, Quengomayo, Milpo y Quinuacucho.

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

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

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

1.2 Participación de la población local

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

- Anunciación Huamán Chávez, quien participó en el monitoreo de agua el día 19 de junio.
- Manuel Salazar Llanos, quien participó en el monitoreo de agua el día 19 de junio.
- Jaime Llanos Salazar, quien participó en el monitoreo de agua el día 27 de junio.

Además, el día 19 de junio se contó con la participación del señor Christian Rafael Silva Chavez, responsable OCRH - ALA LYS

2 Metodología

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Como parte de la campaña de monitoreo, en la Zona II se cuenta con 10 puntos de evaluación, de los cuales, en ocho (8) puntos se miden parámetros de campo y, adicionalmente se colectan muestras para ser analizadas en laboratorio (ver Mapa 2.1, Ubicación de puntos de monitoreo con toma de muestras - Zona II temporada seca 2024); mientras que, en los dos (2) puntos restantes, únicamente se registran parámetros de campo (ver Mapa 2.2, ubicación de puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo – Zona II temporada seca 2024).

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

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

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

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

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

2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

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

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

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

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

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales

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

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

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

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

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

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

Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría

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

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

Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial

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

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

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

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

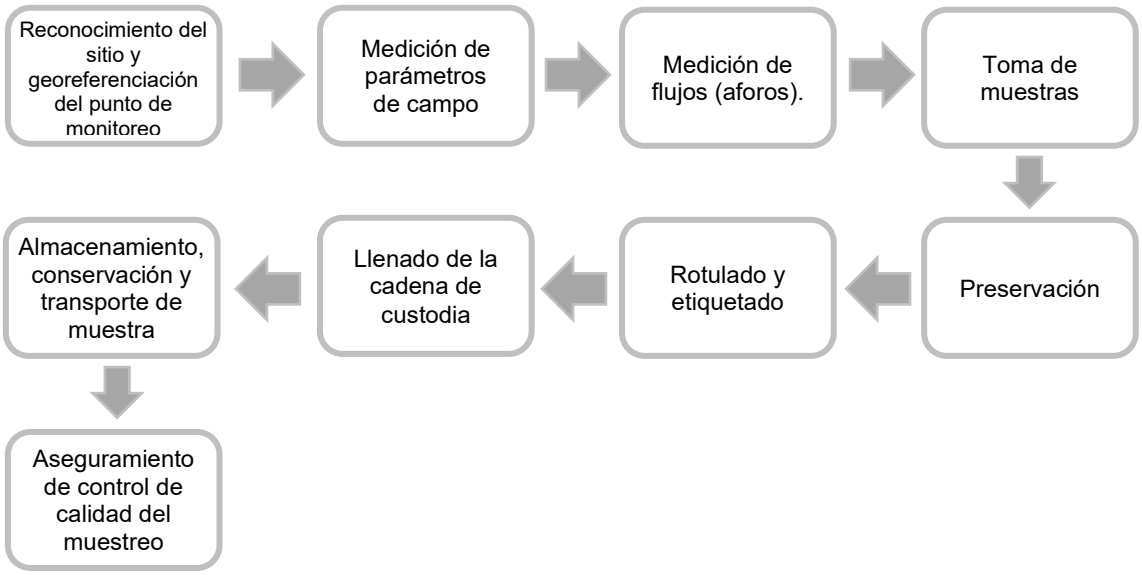
Notas:
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

2.3 Recolección de datos de campo

2.3.1 Toma de muestras

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

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo



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

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

2.3.2 Medición de caudales

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

- Método volumétrico. Principalmente usado en las captaciones de agua para consumo doméstico.
- Método área velocidad empleando flotador. Este método fue empleado para cuantificar el flujo en pequeños cauces con bajo caudal, en los cuales el tirante no fue suficiente como para emplear un correntómetro.
- Método área velocidad empleando correntómetro. Este método fue empleado para cuantificar el flujo de ríos y quebradas de mediano caudal, con un tirante suficiente para la manipulación del equipo.

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

2.4 Análisis de laboratorio

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

2.5 Criterios para el análisis de resultados

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

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

2.6 Control de calidad

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 Medición de caudales

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

Tabla 3-1 Caudales registrados en campo

Punto	Descripción	Caudal (L/s)	Observación
Puntos de monitoreo con toma de muestra			
M14	ACD escuela Santa Rosa de Milpo	0.226	
S33	ACD en El Punre	3.3	
M8	Quebrada Milpo	16	
M24A	Quebrada Chanche	113.53	
M26A	Quebrada Quengomayo	16.8	
M38	Quebrada Quinuacucho	0.729	
PA-02	Pasivo ambiental cerrado (bocamina en Santa Rosa de Milpo)	-	Pasivo cerrado, sin flujo
PA-04	Afloramiento en cerro Hilorrico	0.038	
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
M13	Manantial en Milpo	-	Manantial seco
M35	Reservorio Muyo	-	Reservorio

4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

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

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

4.1.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 1-A1		**6.5 - 8.5**	**1500**	**≥ 6**	**Δ 3**	**5**
M14	ACD escuela Santa Rosa de Milpo	8.49	282	6.25	11.9	0.24
S33	ACD en El Punre	7.43	390	7.18	12.4	1.82

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-1, en los puntos de muestreo M14 y S33, relacionados a la categoría 1 del ECA (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), el pH fue neutro en S33, con un valor de 7.43, y ligeramente alcalino en M14 con un valor de 8.49. En ambos casos estos valores cumplen los ECA.

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

4.1.2 Parámetros fisicoquímicos

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

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

Parámetro	Unidad	Punto M14	Punto S33	Excede el ECA
Color Verdadero	UC	<LD	4.1	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	0.4	0.7	-
Alcalinidad Total	mgCaCO3/L	137.9	220.3	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	161.9	236.5	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	315	441	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	190	260	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	7.34	7.38	-

Parámetro	Unidad	Punto M14	Punto S33	Excede el ECA
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	<LD	<LD	-
Fósforo Total	mg P/L	<LD	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	<LD	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	<LD	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	<LD	-
Cianuro total	mg/L	<LD	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	<LD	-
Turbidez (campo)	NTU	0.24	1.82	-
Conductividad (campo)	uS/cm	282	390	-
Temperatura	°C	11.9	12.4	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	8.49	7.43	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.25	7.18	-

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

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

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

4.1.3 Metales de interés ambiental

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

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

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

Metales (mg/L)	Punto M14	Punto S33	Excede el ECA
*Aluminio Total	<LD	0.038	-
*Antimonio Total	<LD	<LD	-
*Arsénico Total	<LD	0.00267	-
*Bario Total	0.0149	0.0122	-
*Berilio Total	<LD	<LD	-
Bismuto Total	<LD	0.00016	-
*Boro Total	<LD	0.051	-
*Cadmio Total	<LD	<LD	-
Calcio Total	69.795	117.077	-

Metales (mg/L)	Punto M14	Punto S33	Excede el ECA
Cerio Total	<LD	<LD	-
Cesio Total	0.0004	0.0005	-
Cobalto Total	<LD	0.00007	-
*Cobre Total	<LD	<LD	-
*Cromo Total	<LD	0.0031	-
Estaño Total	<LD	<LD	-
Estroncio Total	0.0771	0.1081	-
Fósforo Total	<LD	<LD	-
Galio Total	<LD	<LD	-
Germanio Total	<LD	<LD	-
Hafnio Total	<LD	<LD	-
*Hierro Total	0.0235	0.0416	-
Lantano Total	<LD	<LD	-
Litio Total	<LD	<LD	-
Lutecio Total	<LD	<LD	-
Magnesio Total	0.763	3.046	-
*Manganeso Total	0.0015	0.00163	-
*Mercurio Total	<LD	<LD	-
*Molibdeno Total	<LD	0.00028	-
Niobio Total	<LD	<LD	-
*Niquel Total	<LD	<LD	-
Plata Total	<LD	0.002665	-
*Plomo Total	<LD	0.0007	-
Potasio Total	0.6456	0.6225	-
Rubidio Total	0.003	0.0028	-
*Selenio Total	0.005	<LD	-
Silice Total	4.65	19.57	-
Silicio Total	2.17	9.15	-
Sodio Total	0.446	2.872	-
Talio Total	0.00028	<LD	-
Tantalio Total	<LD	<LD	-
Teluro Total	<LD	<LD	-
Thorio Total	<LD	<LD	-
Titanio Total	0.0006	<LD	-
*Uranio Total	0.00007	0.000255	-
Vanadio Total	<LD	<LD	-
Wolframio Total	<LD	<LD	-
Yterbio Total	<LD	<LD	-
*Zinc Total	0.0356	0.0487	-
Zirconio Total	<LD	<LD	-

Notas:
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 1-A1.

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

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

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

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Coliformes Fecales y Totales

Los valores de coliformes totales obtenidos fueron de 13 NMP/100 mL y 11 NMP/100 mL en las estaciones M14 y S33 respectivamente; donde para ambos casos se cumple con el estándar de referencia de 50 NMP/100 mL indicado en el ECA de agua.

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

Escherichia coli

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

Organismos de vida libre

En la estación S33 se registró una concentración de 187 organismos/L de organismos de vida libre en forma de algas. 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 y otros. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua.

Otros parámetros microbiológicos

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

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

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

4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 3 - Riego de vegetales		**6.5 - 8.5**	**2500**	**≥ 4**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 3 - Bebida de animales		**6.5 - 8.4**	**5000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 4 - Ríos		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M8	Quebrada Milpo	**6.11**	22.7	6.7	14.1	0.58
M24A	Quebrada Chanche	7.74	133.2	6.8	14.9	5.81
M26A	Quebrada Quengomayo	7.77	251	7.6	11.3	7.81
M38	Quebrada Quinuacucho	**2.71**	**1325**	6.01	15.7	0.27
PA-04	Afloramiento en cerro Hilorrico	**3.36**	224	6.02	18.6	0.26

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

De acuerdo con los resultados obtenidos, los puntos de muestreo ubicados en la Quebrada Chanche (M24A) y Quebrada Quengomayo (M26A), relacionados a la categoría 3 y 4 del ECA, presentan un pH neutro (7.74 y 7.77 respectivamente), los cuales cumplen los valores de referencia indicados en los ECA para ambas categorías. De manera contraria, los puntos de muestreo M8 (Quebrada Milpo), M38 (Quebrada Quinuacucho) y PA-04 (Afloramiento en cerro Hilorrico) presentaron valores ácidos de pH (6.11, 2.71 y 3.36 respectivamente), los que se encontrarían por debajo del rango de referencia de pH indicado en los ECA. Los puntos de muestreo M38, M8 y PA-04 se encuentran alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría el valor bajo de pH.

Los valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo relacionados con las categorías 3 y 4 del ECA de Agua, varían entre 6.01 y 7.6 mg/l. Estos valores cumplen en todos los casos con los valores de referencia del ECA.

En el punto M38 se registró un valor de conductividad eléctrica que superaría el valor de referencia de la Categoría 4-E2 del ECA de agua, pero que cumpliría con la Categoría 3.

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	3	<LD	28.7	9.1	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	5	5	0.2	4.9	2.1	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	5	2	<LD	141.1	NA	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	5	5	40.2	1400	426.2	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	5	17	900	267.4	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	5	2	<LD	4	NA	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	5	5	**2.67**	8.04	5.23	3*
Amoníaco	mg NH3/L	5	4	<LD	0.848	0.21	-

Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Fósforo Total	mg P/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
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	2	<LD	6.3	NA	-
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Aceites y Grasas	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro libre	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Fenoles	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro WAD	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Turbidez	NTU	5	5	0.26	7.81	2.95	-
Conductividad (campo)	uS/cm	5	5	22.7	**1325**	391.2	1
Temperatura	°C	5	5	11.3	18.6	14.92	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	5	5	**2.71**	7.77	5.54	3
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	5	6.01	7.6	6.63	-

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

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de cromo hexavalente, fósforo total, 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.

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 22.7 y 1325 µS/cm, mientras que, los resultados de laboratorio varían entre 40.2 y 1400 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 2.71 y 7.77, mientras que, los resultados de laboratorio indican valores entre 2.67 y 8.04.

En la estación M38 se registró un valor elevado de conductividad eléctrica, el cual guarda relación con el valor de 900 mg/L de sólidos totales disueltos, y el bajo pH de las aguas, lo que podría ser un indicador de la elevada carga iónica de esta muestra.

4.2.3 Metales de interés ambiental

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

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

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

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Aluminio Total	5	5	0.049	**15.609**	4.055	1
*Antimonio Total	5	1	<LD	0.00109	NA	-
*Arsénico Total	5	3	<LD	0.02227	0.00579	-
*Bario Total	5	5	0.0059	0.0237	0.0154	-
*Berilio Total	5	2	<LD	0.00135	NA	-
Bismuto Total	5	3	<LD	0.00026	0.00012	-
*Boro Total	5	2	<LD	0.072	NA	-
*Cadmio Total	5	4	<LD	0.00567	0.00195	-
*Cadmio Disuelto	5	3	<LD	**0.0014**	0.00062	3
Calcio Total	5	5	0.074	55.86	20.380	-
Cerio Total	5	3	<LD	0.02552	0.0055	-
Cesio Total	5	2	<LD	0.0029	NA	-
*Cobalto Total	5	5	0.00014	**0.05082**	0.01320	1
*Cobre Total	5	4	<LD	**2.75486**	0.68269	2
*Cromo Total	5	3	<LD	0.0074	0.00266	-
Estaño Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	5	5	0.0067	0.12	0.0540	-
Fósforo Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Galio Total	5	2	<LD	0.00169	NA	-
Germanio Total	5	1	<LD	0.029	NA	-
Hafnio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	5	5	0.1397	**57.8833**	11.8934	1
Lantano Total	5	1	<LD	0.014	NA	-
*Litio Total	5	3	<LD	0.0104	0.0026	-
Lutecio Total	5	1	<LD	0.00009	NA	-
*Magnesio Total	5	5	0.148	3.407	1.318	-
*Manganeso Total	5	5	0.01236	**0.63956**	0.19140	2
*Mercurio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Molibdeno Total	5	3	<LD	0.00083	0.00032	-
Niobio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Niquel Total	5	3	<LD	**0.0662**	0.0168	1
Plata Total	5	1	<LD	0.000455	NA	-
*Plomo Total	5	3	<LD	**0.0833**	0.0234	3
Potasio Total	5	5	0.2202	5.4768	1.49	-
Rubidio Total	5	5	0.0014	0.0185	0.0068	-
*Selenio Total	5	1	<LD	**0.0053**	NA	1
Silice Total	5	4	<LD	27.75	12.04	-
Silicio Total	5	4	<LD	12.97	5.63	-
Sodio Total	5	5	0.746	4.206	2.145	-
*Talio Total	5	4	<LD	**0.02693**	0.00557	1

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
Tantalio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Teluro Total	5	1	<LD	0.01	NA	-
Thorio Total	5	1	<LD	0.00151	NA	-
Titanio Total	5	2	<LD	0.0008	NA	-
Uranio Total	5	4	<LD	0.000945	0.00025	-
Vanadio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Wolframio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	5	1	<LD	0.00069	NA	-
*Zinc Total	5	5	0.0093	**0.3022**	0.1706	3
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, a continuación, se describen los metales de interés ambiental más relevantes y/o que presentaron excedencias respecto a la norma:

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 4.055 mg/L; variaron entre un valor mínimo de 0.049 mg/L (estación M26A) y un valor máximo de 15.609 mg/L (estación M38). El valor registrado en M38 (Quebrada Quinuacucho), excedería la norma, sin embargo, estaría relacionado a las propias características geológicas del lugar, tal como se ha presentado en monitoreos anteriores. En todos los demás puntos de muestreo las concentraciones de aluminio total se encontraron muy por debajo del valor de referencia (5 mg/L) de la Categoría 3 del ECA de agua.

Cobalto Total

El cobalto total estuvo presente en la totalidad de las muestras analizadas, en las aguas relacionadas a la categoría 3 del ECA, este metal varió en un rango de entre un mínimo de 0.00014 mg/L (estación M26A) y un máximo de 0.05082 mg/L (estación M38). El valor registrado en M38 excedería ligeramente el valor de referencia para la Categoría 3-D1 del ECA (0.05 mg/L), sin embargo, cumpliría la Categoría 3-D2 de la misma norma. En todos los demás puntos de muestreo las concentraciones de cobalto cumplieron la norma.

Cadmio Disuelto

Se reportaron tres valores de cadmio disuelto mayores al límite de detección del método de análisis, que a su vez excedieron también la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.00025 mg/L). Estas concentraciones de 0.0014 mg/L, 0.0003 mg/L y 0.00136 mg/L, obtenidas en los puntos M24A, M26A y PA-04 respectivamente, son recurrentes de acuerdo a las evaluaciones previas, y podrían estar relacionadas a las características geológicas locales y a procesos de lixiviación de metales influenciados por las condiciones de pH.

Cobre Total

Se obtuvo una concentración promedio de cobre total de 0.68269 mg/L, con un valor mínimo de <LD (<0.00009 mg/L) en la estación M26A, y un valor máximo de 2.75486 mg/L en la estación M38. Las estaciones M38 y M24A, con valores de 2.75486 mg/L y 0.57298 mg/L respectivamente, exceden los valores de referencia de la Categoría 3 del ECA para riego de vegetales (0.2 mg/L), bebida de animales (0.5 mg/L) y la Categoría 4-E2 (0.1 mg/L). Estas excedencias pueden estar relacionadas con la mineralización local y la lixiviación de metales facilitada por el pH bajo en estas áreas.

Hierro Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron un valor promedio de 11.8934 mg/L, con concentraciones que varían entre 0.1397 mg/L (estación M8) y 57.8833 mg/L (estación M38). El valor en la estación M38 excede el valor de referencia indicado en los ECA de agua para hierro (5 mg/L), lo que puede atribuirse a la mineralización y características geológicas del área, donde los minerales de hierro son abundantes y susceptibles a lixiviación.

Manganeso Total

En las aguas muestreadas, las concentraciones de manganeso total oscilaron entre 0.01236 mg/L (estación PA-04) y 0.63956 mg/L (estación M38). Los valores registrados en las estaciones M38 (0.63956 mg/L) y M24A (0.25019 mg/L) exceden el valor de referencia de 0.2 mg/L indicado para la Categoría 3 del ECA. Estas excedencias pueden estar relacionadas con la mineralización natural y el bajo pH que facilita la movilidad del manganeso en el entorno.

Níquel Total

Las concentraciones de níquel total variaron desde un mínimo de <LD (<0.0006 mg/L) en la estación M8 y M26A, hasta un máximo de 0.0662 mg/L en la estación M38. Este valor en M38 excede el límite de 0.052 mg/L establecido para la Categoría 4-E2 del ECA de agua. La posible causa de esta excedencia podría estar vinculada a las características geológicas de la región, incluyendo la presencia de sulfuros de níquel que, bajo condiciones específicas de pH, se movilizan más fácilmente.

Plomo Total

Este metal varió en un rango de entre un mínimo de <LD (<0.0006 mg/L) y un máximo de 0.0833 mg/L (estación PA-04). Según las concentraciones registradas, los puntos de evaluación M24A, M38 y PA-04 registraron concentraciones de plomo total de 0.003 mg/L, 0.0295 mg/L y 0.0833 mg/L respectivamente, los cuales superaría el valor de referencia indicado en la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.0025 mg/L); asimismo, el punto PA-04, a su vez, excedería también la categoría 3 (0.05 mg/L) del ECA. Estas excedencias estarían relacionadas a las ubicaciones de las estaciones de muestro; para todos los demás puntos evaluados, se cumple con el estándar de calidad ambiental.

Selenio Total

El selenio total fue detectado en la estación M38 con un valor de 0.0053 mg/L, que supera el límite de 0.005 mg/L establecido para la Categoría 4-E2 del ECA de agua. La presencia de selenio en esta concentración podría estar asociada a la oxidación de minerales sulfurados en la geología circundante, lo que libera este elemento en el agua.

Talio Total

Se detectaron cuatro concentraciones de talio en los puntos evaluados, donde en el punto PA-04 registró una concentración de 0.02693 mg/L. En ese sentido, las aguas de PA-04 excederían el lineamiento de la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.0008 mg/L); esta excedencia estaría relacionada a la ubicación de la estación de muestreo, donde dicha zona estaría recibiendo influencia de la geología propia del cerro Hillorrico y/o el pasivo ambiental cerrado.

Zinc Total

Las concentraciones de zinc total variaron entre un mínimo de 0.0093 mg/L en la estación M26A y un máximo de 0.3022 mg/L en la estación PA-04. Los valores registrados en las estaciones M24A, M38 y PA-04 (0.2891 mg/L, 0.2421 mg/L y 0.3022 mg/L respectivamente), cumplirían los lineamientos de la categoría 3 del ECA, pero excederían la categoría 4-E2 del ECA de agua, que estipula una concentración máxima de 0.12 mg/L. De acuerdo con lo indicado en párrafos previos, estas concentraciones en el punto PA-04 estarían relacionadas a la geología de la zona, donde el zinc es lixiviado debido a las condiciones químicas del entorno.

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

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

Con respecto al análisis de coliformes totales, las concentraciones registradas variaron entre 4 NMP/100 mL y 9.3 NMP/100 mL.

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

Asimismo, se efectuó la cuantificación de huevos de helmintos, donde los reportes de laboratorio indicaron un valor de 0 para todos los puntos de muestreo.

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

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

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

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

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

Estación	Categoría Aplicable*	Parámetros que exceden los ECA de Referencia				
		In-Situ		Fisicoquímicos	Microbiológicos	Metales Totales
		pH**	OD			

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

4.4 Evaluación Hidroquímica

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

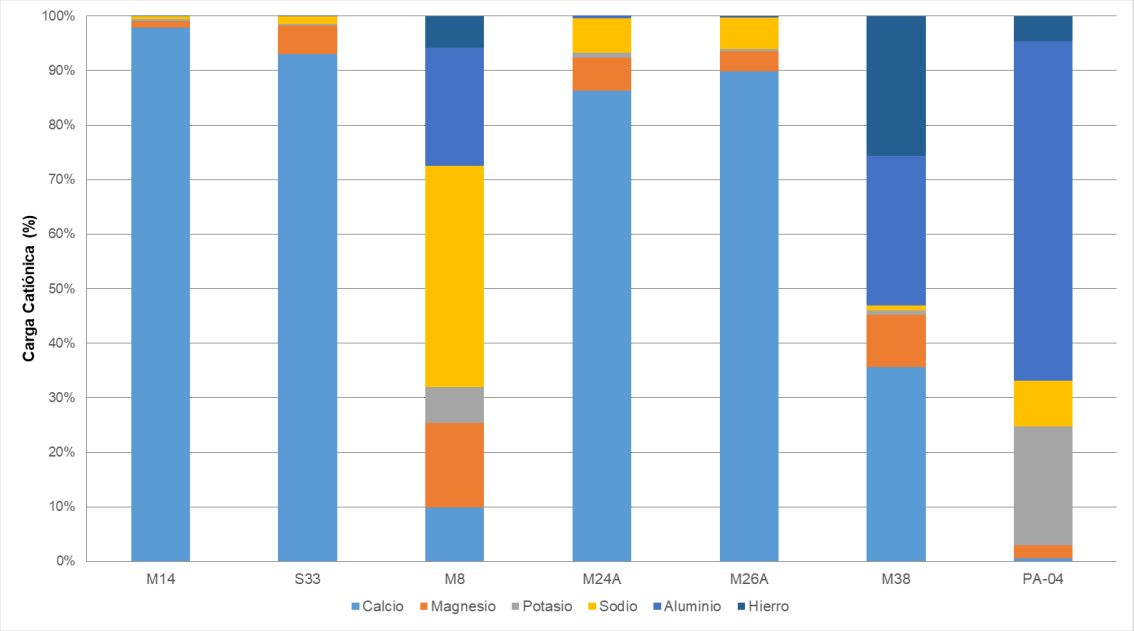
Tabla 4-8 Concentración de Iones Principales en la Zona II

Punto	Cationes (meq/L)						Aniones (meq/L)					
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+3}	Fe^{+3}	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	$N\text{-}NO_3^-$
M14	3.204	0.038	0.013	0.017	0.000	0.001	2.241	0.112	0.008	0.002	0.544	0.009
S33	3.963	0.229	0.010	0.061	0.000	0.000	3.664	0.015	0.031	0.003	0.173	0.047
M24A	0.006	0.010	0.004	0.027	0.014	0.004	0.000	0.000	0.003	0.000	0.081	0.000
M26A	1.425	0.098	0.016	0.105	0.006	0.000	0.820	0.007	0.025	0.002	0.496	0.028
M38	2.342	0.096	0.011	0.152	0.005	0.002	2.341	0.022	0.038	0.003	0.101	0.008
M8	0.143	0.039	0.004	0.003	0.110	0.103	0.000	0.000	0.047	0.008	4.823	0.065
PA-04	0.002	0.009	0.085	0.033	0.244	0.018	0.000	0.000	0.010	0.001	0.574	0.005

Notas:
- Las concentraciones de aniones y cationes reportadas por el laboratorio en mg/L han sido convertidas y expresadas en meq/L con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica.
- Las concentraciones de los iones carbonatos y bicarbonatos han sido estimados a partir de la alcalinidad total y el pH, según el método distribución de especies carbonatadas en disoluciones. (Kehew A.E., 2001)
- Aquellos iones que fueron reportados por el laboratorio como menor al límite de detección (<LD), para fines de cálculo se ha considerado una concentración de 0 meq/L, con el propósito de no sobreestimar su presencia en la evaluación.

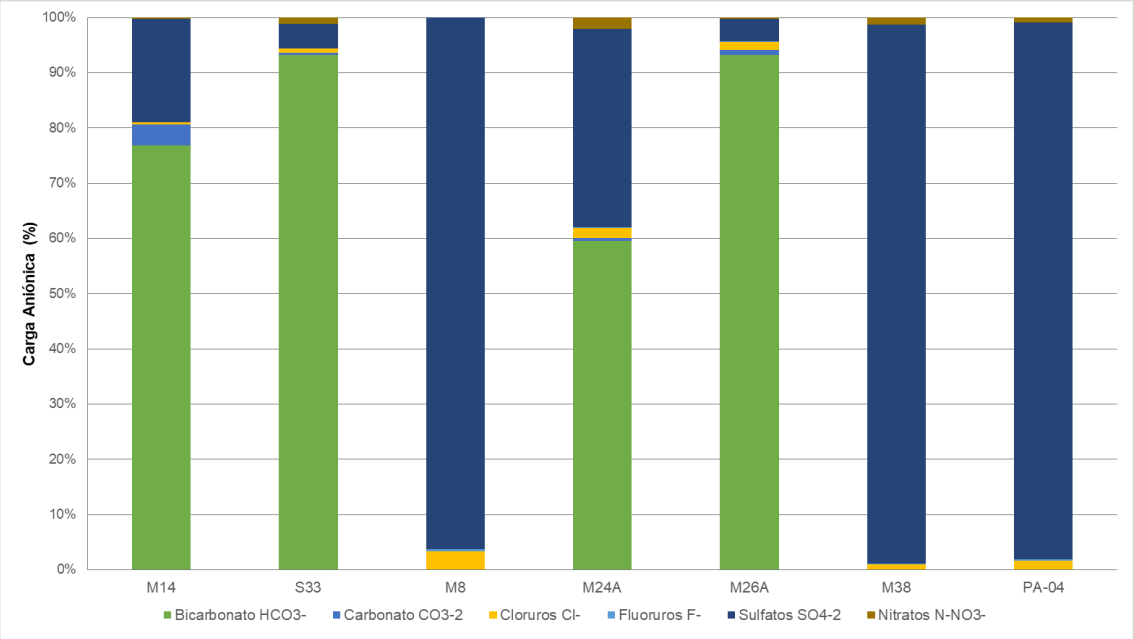
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-1, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona II corresponde al Calcio, primando en cuatro (4) de los siete (7) puntos evaluados, variando desde el 86% hasta el 98% de la de la carga catiónica total (CCT). Las tres (3) estaciones de muestreo restantes, presentan una carga catiónica total donde predomina el aluminio y/o una carga mixta (calcio, aluminio, hierro y/o sodio).

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



De manera similar, se presenta la Figura 4-2, donde se observa que el ion bicarbonato es el anión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona II, primando en cuatro (4) puntos de muestreo, con una carga aniónica total que varía entre 77% y 93%. De manera contraria, en las tres (3) estaciones restantes, el sulfato es el ion que prevalece sobre los demás, con una carga aniónica total que varía entre el 96% y 98%.

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



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

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

Estación	Catión predominante	Anión predominante	Tipo de Agua	Denominación
M14	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S33	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M8	Na – Al	SO4	Na-Al-SO_4	Sulfatada Mixta
M24A	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M26A	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M38	Ca - Al - Fe	SO4	Ca-Al-Fe-SO_4	Sulfatada Mixta
PA-04	Al	SO4	Al-SO_4	Aluminio Sulfato

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

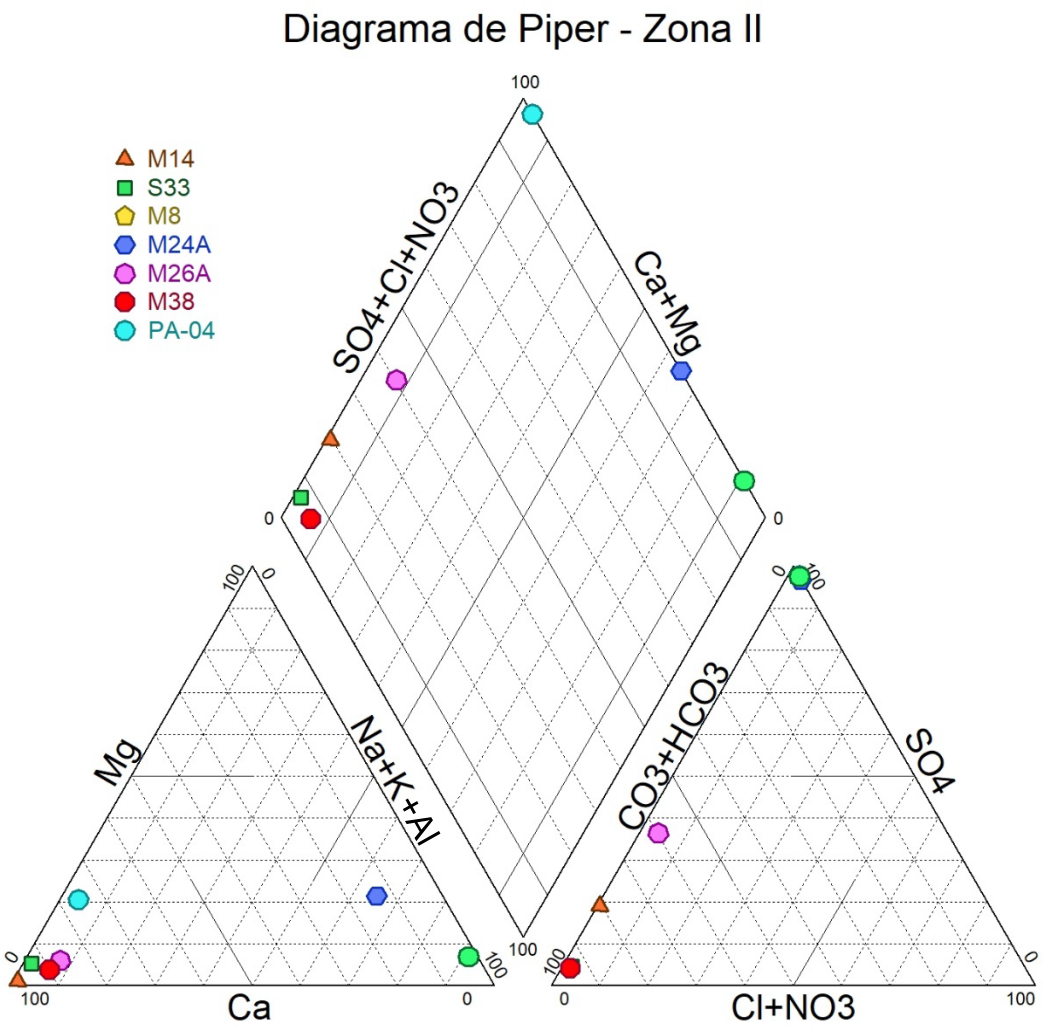
- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo M14, S33, M24A y M26A, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (96 a 260 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (49.4 a 220.3 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.43 a 8.49). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra PA-04. Está caracterizada por presentar una moderada concentración de STD (150 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (3.36). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M8 y M38. El anión predominante es el sulfato, mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total, por el contrario, estos se distribuyen en mayor proporción en iones de calcio, aluminio, sodio, y hierro. Presenta un pH ácido en M38 y ligeramente ácido en M8 (2.71 y 6.11 respectivamente), alcalinidad nula, una baja concentración de STD para el punto M8 (17 mg/L) y alta para el punto M38 (900 mg/L).

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

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



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

5 Resultados en puntos con solo registro de parámetros de campo

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 3 - Riego de vegetales		**6.5 - 8.5**	**2500**	**≥ 4**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 3 - Bebida de animales		**6.5 - 8.4**	**5000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M35	Reservorio Muyo	**8.56**	240.4	9.17	13.7	6.90

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

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 5-1, el punto M35 presenta aguas ligeramente alcalinas, con un valor de pH de 8.56, el cual excedería ligeramente el rango de referencia indicado en la categoría 3 del ECA. La conductividad eléctrica es moderada con un valor de 240.4 µS/cm, una concentración de oxígeno disuelto óptima de 9.17 mg/L y una turbidez de 6.90 NTU; para todos estos parámetros los resultados cumplieron el ECA.

6 Resultados del procedimiento de control de calidad

6.1 Blanco viajero y blanco de campo

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

Los resultados de la muestra de blanco de campo (BK-campo1) tomada junto a la estación M14, indican que se detectaron concentraciones mayores al límite de detección cloruro. Esta concentración detectada es muy baja y no sugieren algún grado de adulteración a las muestras tomadas.

Respecto a los resultados de la muestra de blanco viajero (BK-viajero), todos los parámetros se reportaron por debajo del límite de detección (<LD), a excepción de una traza de cloruro. Sin embargo, esta pequeña traza no sería relevante, por lo que indicaría una buena confiabilidad durante el 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 (%);

Σm_c: Suma de las concentraciones en meq/L de las especies catiónicas; y

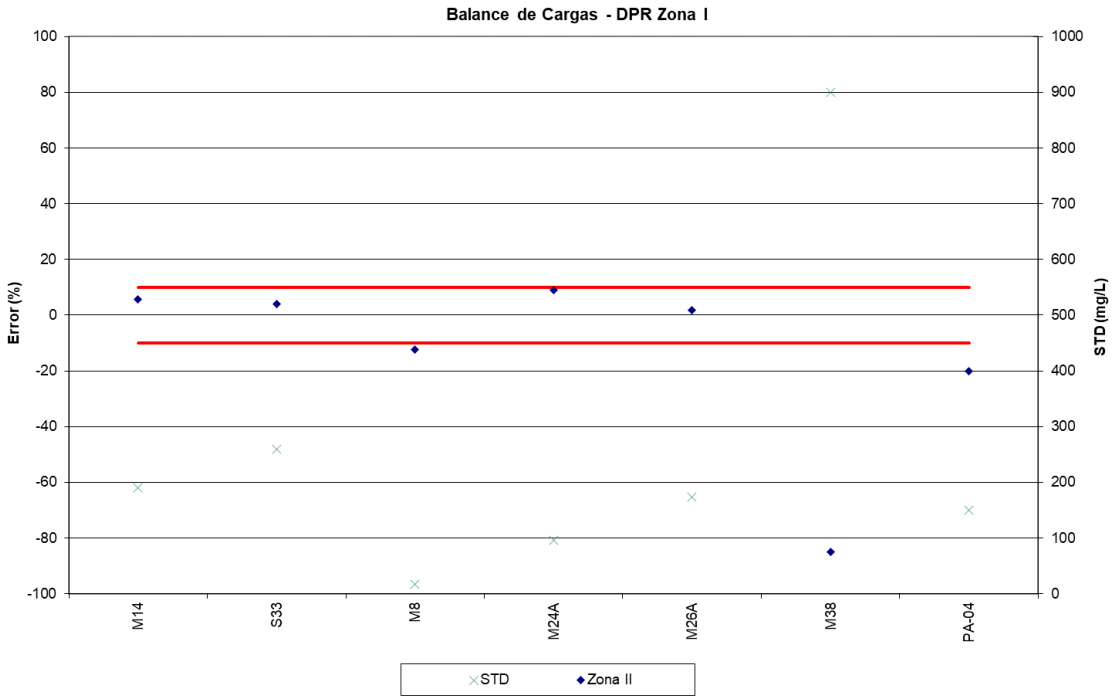
Σm_a: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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

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

En la Figura 6-1, se presenta de manera gráfica el error de balance iónico obtenido para cada estación. Se observa que para la mayoría de los casos el porcentaje de error varía en rango aceptable de ± 10%, sin embargo, en algunos puntos se observa que el error de cargas está alejado de este rango, la explicación podría deberse a que no se consideró el análisis de los iones H+ en el análisis para el balance de cargas, y estas muestras al presentar valores bajos de pH, la concentración de dicho catión podría tener cierta relevancia.

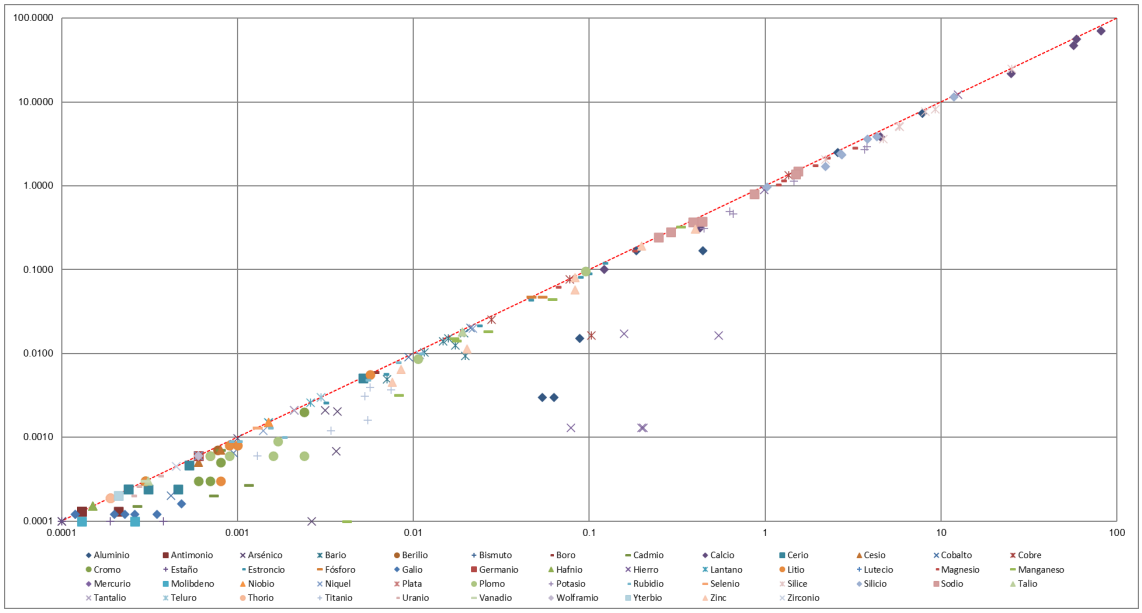
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona II



6.3 Comparación entre metales totales y disueltos

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

Figura 6-2 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos



7 Conclusiones y recomendaciones

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

- *Aguas Categoría 1-A1:*

El pH analizado en ambas muestras fue neutro, conductividad eléctrica y turbidez, cumplieron con los valores de referencia indicados en los ECA, a excepción del oxígeno disuelto que excedió ligeramente el rango establecido en los ECA.

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

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

- *Aguas Categoría 3 y 4:*

Los puntos de muestreo M24A y M26A, presentan un pH neutro (7.74 y 7.77 respectivamente), los cuales cumplen los valores de referencia indicados en los ECA para ambas categorías. En cambio, los puntos M8, M38 y PA-04 presentaron valores de pH ácidos, los cuales varían entre 2.71 y 6.11, y se encuentran por debajo de los rangos establecidos en los ECA. Los puntos anteriormente mencionados, se encuentran alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría su bajo pH; adicionalmente, el punto PA-04 podría estar siendo también influenciado por su cercanía al pasivo ambiental y las filtraciones del cerro Hilorrico.

En la estación M38 se registró un valor elevado de conductividad eléctrica, el cual superaría el valor indicado en el ECA. Este valor guarda relación con el valor de 900 mg/L de sólidos totales disueltos, y el bajo pH de las aguas, lo que podría ser un indicador de la elevada carga iónica de esta muestra.

Se presentaron excedencias respecto a la categoría 4-E2 del ECA para el parámetro cadmio disuelto en los puntos de muestreo M24A, M26A y PA-04. La estación M38 excede las categorías 3 y 4 del ECA de agua en cobre total; además, presenta excedencias únicamente a la categoría 3 del ECA de agua en los metales: aluminio total, cobalto total, hierro total y manganeso total, y excedencias únicamente en la categoría 4 del ECA, en los metales níquel total, plomo total y zinc total. De manera similar, se presentaron excedencias en el punto de muestreo PA-04 en los parámetros de hierro total, plomo total, talio total y zinc total, donde se excedería ligeramente la categoría 4-E2 del mismo.

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

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

En relación al punto de muestreo donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo (M35), se registró un valor de pH ligeramente alcalino, el cual estaría por encima del rango la categoría 3-D2 (Bebida de animales del ECA de agua. El oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbidez, cumplen con los ECA en el punto de evaluación

Química del agua

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

- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo M14, S33, M24A y M26A, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (96 a 260 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (49.4 a 220.3 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.43 a 8.49). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra PA-04. Está caracterizada por presentar una moderada concentración de STD (150 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (3.36). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M8 y M38. El anión predominante es el sulfato, mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total, por el contrario, estos se distribuyen en mayor proporción en iones de calcio, aluminio, sodio, y hierro. Presenta un pH ácido en M38 y ligeramente ácido en M8 (2.71 y 6.11 respectivamente), alcalinidad nula, una baja concentración de STD para el punto M8 (17 mg/L) y alta para el punto M38 (900 mg/L).

En base al análisis de control de calidad, es posible indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento, transporte y análisis de laboratorio no han generado algún tipo de distorsión y/o error significativo que pueda generar una alteración relevante de los resultados obtenidos, sin embargo, si bien los resultados pueden considerarse representativos, debe prestarse mayor atención en el aseguramiento de la calidad al momento del transporte, almacenaje y manejo en laboratorio de las muestras, de tal manera que se evite la presencia de trazas químicas en las muestras de blanco y la posible contaminación de las muestras recogidas.

8 Referencias

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

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

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

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

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

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