PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA SECA 2021

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 QUISPE

Especialista Ambiental Senior

CIP 44433

LIMA, AGOSTO 2021

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 21

4.2.1 Parámetros de campo (in-situ) 21

4.2.2 Parámetros fisicoquímicos 22

4.2.3 Metales de interés ambiental 23

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 32

6.2 Balance de cargas 32

6.3 Comparación entre metales totales y disueltos 33

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34

8 REFERENCIAS 36

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona II 6
Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona II 6
Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría 7
Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial 9
Tabla 3-1 Caudales registrados en campo 16
Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (In-situ) en aguas Categoría 1-A1 17
Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 17
Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1 19
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 22
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 33

LISTA DE MAPAS

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

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

Mapa 4.1 Mapa de tipos químicos de agua

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Resultados de análisis de laboratório

Anexo B Memoria fotográfica

Anexo C Actas de participación

Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo

Anexo E Fichas de información de campo

Anexo F Registros de aforo

Anexo G Cadenas de Custodia

Anexo H Informes de ensayo de laboratório

Anexo I Certificados de calibración

1 Introducción

1.1 Introducción

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

Hidrográficamente, el área de estudio comprende una zona de la microcuenca 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 II (Microcuenca de la Quebrada Chanche) del Proyecto El Galeno. Los monitoreos efectuados corresponden a la temporada seca 2021, y fueron desarrollados los días 25, 27 y 28 de mayo del 2021. 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. En aquellos puntos que por su naturaleza no han sido clasificados como agua superficial, 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 monitores ambientales de los caseríos:

- Eliseo Medina Villanueva - Caserío Quengomayo, quien participó en el monitoreo de agua el día 25 y 28 de mayo.

- Olger Tacilla Alvarado - Caserío El Porvenir, quien participó en el monitoreo de agua el día 27 de mayo.

En 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 II se cuentan 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; mientras que, en los dos (2) 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 ocho (8) 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 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
PA-04	9 228 804	797 240	3 930	Afloramiento en cerro Hilorrico	3 y 4	Si

Nota:
ACD = agua para consumo doméstico.

Cabe indicar que en el punto PA-02 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
M35	9 227 512	798 582	3 606	Reservorio Muyo	3 y 4-E1	Si

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).

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	X
Nitrógeno Amoniacal	X			
Nitrógeno Total			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

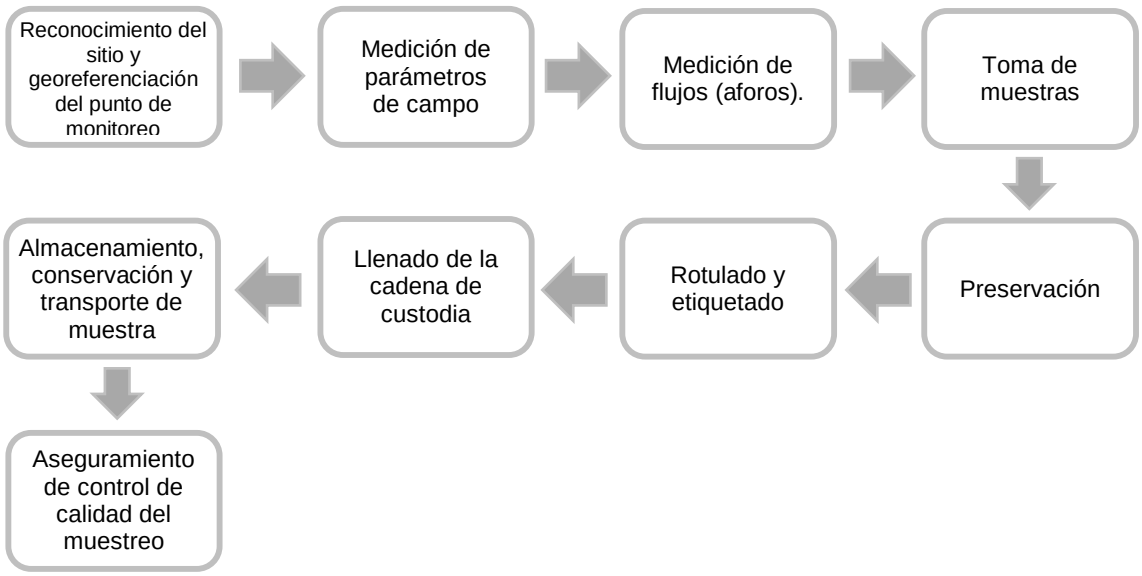
Notas:
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

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 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 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	1.2	
S33	ACD en El Punre	1	
M24A	Quebrada Chanche	572	
M26A	Quebrada Quengomayo	211	
M38	Quebrada Quinuacucho	5.2	
M8	Quebrada Milpo	45.67	
PA-02	Pasivo ambiental cerrado (bocamina en Santa Rosa de Milpo)	-	Pasivo cerrado, sin flujo
PA-04	Afloramiento en cerro Hilorrico	0.14	
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
M13	Manantial en Milpo	-	Manantial seco
M35	Reservorio Muyo	-	Reservorio

4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

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

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

4.1.1 Parámetros de campo (in-situ)

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 1-A1		**6.5 - 8.5**	**1500**	**≥ 6**	**Δ 3**	**5**
M14	ACD escuela Santa Rosa de Milpo	7.57	198.3	**5.28**	11.7	0.87
S33	ACD en El Punre	7.34	398.0	6.50	11.8	0.60

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).

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-1, en los puntos de muestreo M14 y S33, relacionados a la categoría 1 del ECA (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), el pH fue neutro y tuvo un valor de 7.57 y 7.34, respectivamente. En ambos casos estos valores cumplen los ECA.

Los valores de oxígeno disuelto presentaron concentraciones de 5.28 mg/L en el punto M14 y 6.50 mg/L en el punto S33. La concentración de OD en el punto de muestreo M14 (5.28 mg/L), se encuentra por debajo del valor mínimo indicado en la categoría 1-A1 del ECA de agua. Este valor bajo de oxígeno disuelto estaría relacionado al estancamiento de las aguas que impide la correcta aireación o a la presencia de algas en el recurso.

Se registraron valores óptimos de 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	2.8	-

Parámetro	Unidad	Punto M14	Punto S33	Excede el ECA
Turbidez (laboratorio)	NTU	0.5	0.5	-
Alcalinidad Total	mgCaCO3/L	95.3	232.2	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	126.4	181.8	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	255.9	406.0	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	151	272	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	7.05	7.33	-
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	<LD	0.014	-
Fósforo Total	mg P/L	<LD	0.02	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	<LD	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	7.3	5.5	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	<LD	-
Cianuro total	mg/L	<LD	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	<LD	-
Turbidez (campo)	NTU	0.87	0.60	-
Conductividad (campo)	uS/cm	198.30	398.00	-
Temperatura	°C	11.70	11.80	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	7.57	7.34	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	**5.28**	6.50	1

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

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de demanda bioquímica 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, a excepción del oxígeno disuelto en el punto M14, el cual ya fue descrito en párrafos previos.

De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio en el punto S33; mientras que, en el punto M14 la conductividad y pH medidos en laboratorio, tienen una leve desviación respecto a los valores medidos en campo, esto estaría asociado a una menor concentración de sólidos totales disueltos y menor alcalinidad.

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	0.046	-
*Antimonio Total	<LD	<LD	-
*Arsénico Total	<LD	<LD	-
*Bario Total	0.0188	0.0123	-
*Berilio Total	<LD	0.00011	-
Bismuto Total	<LD	<LD	-
*Boro Total	<LD	<LD	-
*Cadmio Total	<LD	<LD	-
Calcio Total	45.116	74.263	-
Cerio Total	<LD	<LD	-
Cesio Total	0.0005	<LD	-
Cobalto Total	<LD	<LD	-
*Cobre Total	<LD	<LD	-
*Cromo Total	<LD	<LD	-
Estaño Total	<LD	<LD	-
Estroncio Total	0.0973	0.0956	-
Fósforo Total	<LD	<LD	-
Galio Total	0.00022	<LD	-
Germanio Total	<LD	<LD	-
Hafnio Total	<LD	<LD	-
*Hierro Total	<LD	0.0067	-
Lantano Total	<LD	<LD	-
Litio Total	<LD	<LD	-
Lutecio Total	<LD	<LD	-
Magnesio Total	1.032	3.601	-
*Manganeso Total	0.00383	0.00135	-
*Mercurio Total	<LD	<LD	-
*Molibdeno Total	<LD	<LD	-
Niobio Total	<LD	<LD	-
*Niquel Total	<LD	<LD	-
Plata Total	<LD	<LD	-
*Plomo Total	<LD	<LD	-
Potasio Total	1.21	0.35	-
Rubidio Total	0.0037	<LD	-
*Selenio Total	<LD	<LD	-
Silice Total	5.88	3.2	-
Silicio Total	2.75	1.49	-
Sodio Total	0.216	0.366	-
Talio Total	0.00015	<LD	-
Tantalio Total	<LD	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M14	Punto S33	Excede el ECA
Teluro Total	<LD	<LD	-
Thorio Total	<LD	<LD	-
Titanio Total	0.0006	<LD	-
*Uranio Total	<LD	0.000232	-
Vanadio Total	<LD	<LD	-
Wolframio Total	<LD	<LD	-
Yterbio Total	<LD	<LD	-
*Zinc Total	0.0464	0.0166	-
Zirconio Total	<LD	<LD	-

Notas:
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 1-A1.
<LD: Menor al Límite de Detección.

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, arsénico, boro, cadmio, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y selenio no fueron detectados en las muestras de agua. No obstante, las concentraciones para aquellos parámetros que si fueron detectados, no estuvieron por encima del ECA.

El metal con una mayor concentración es el calcio con valores de 45.116 y 74.263 mg/L para M14 y S33, respectivamente. Para los demás metales, en todos los casos dichos valores se encontraron muy por debajo del ECA de referencia en ambas estaciones.

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Coliformes Fecales y Totales

Los valores de coliformes totales obtenidos fueron de 7.8 NMP/100 mL en las estaciones M14 y S33; 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, se encontraron en su totalidad por debajo del límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL), por lo tanto, estos valores cumplirían con los estándares establecidos en los ECA.

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 M14 y S33, en una proporción de 8 organismos/L en el punto M14 y 16 organismos/L en el punto S33. Estos dos valores excederían el estándar de referencia indicado en la norma (0 organismos/L). La presencia de algas suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar confinadas, 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.

Otros parámetros microbiológicos

Se evaluaron otros parámetros microbiológicos, tales como Vibrio cholerae, formas parasitarias, microcistina-LR, huevos y 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.

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**	**-**
M24A	Quebrada Chanche	7.29	141.7	7.27	12.9	3.21
M26A	Quebrada Quengomayo	7.40	276.0	7.15	11.3	3.70
M38	Quebrada Quinuacucho	**3.56**	187.1	6.25	14.3	21.60
M8	Quebrada Milpo	**5.43**	13.0	6.74	13.7	1.03
PA-04	Afloramiento en cerro Hilorrico	**3.37**	203.8	5.72	19.3	2.20

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 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 (7.29 y 7.40 respectivamente), los cuales cumplen los valores de referencia indicados en los ECA para ambas categorías. El punto de muestreo ubicado en la Quebrada Milpo (M8), presentó un pH ligeramente ácido (5.43), mientras que los puntos de muestreo M38 (Quebrada Quinuacucho) y PA-04 (Afloramiento en cerro Hilorrico) presentaron valores ácidos de pH (3.56 y 3.37 respectivamente). Los puntos de muestreo anteriormente mencionados se encontrarían por debajo del rango de referencia 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 6.25 y 7.27 mg/l, los cuales cumplen en todos los casos con los valores de referencia del ECA.

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

4.2.2 Parámetros fisicoquímicos

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

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

Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	5	2	<LD	7.7	NA	-
Turbidez	NTU	5	5	0.4	2.4	1.24	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	5	2	<LD	130.8	NA	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	5	5	22	286.4	167.94	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	5	14	190	102.6	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	5	1	<LD	7	NA	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	5	5	3.53	6.26	4.812	5*
Amoníaco	mg NH3/L	5	5	0.013	0.376	0.0928	-
Fósforo Total	mg P/L	5	2	<LD	**0.06**	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	2	<LD	14.9	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 total	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	1.03	21.6	6.348	-
Conductividad (campo)	uS/cm	5	5	12.95	276	164.31	-
Temperatura	°C	5	5	11.3	19.3	14.3	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	5	5	**3.37**	7.4	5.41	3
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	5	5.72	7.27	6.626	-

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

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de cromo hexavalente, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, aceites y grasas, cianuro total, 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 detectaron dos concentraciones de fósforo total mayores al límite de detección del método de análisis, en los puntos de muestreo M26A y M38. Sin embargo, el valor registrado de fósforo total en M38 fue de 0.06 mg/L y excedería ligeramente el valor de referencia indicado en la categoría 4-E2 del ECA (0.05 mg/L).

Las concentraciones detectadas de fósforo total estarían relacionadas al uso de fertilizantes, jabones o detergentes en actividades de terceros y en oportunidades 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 12.95 y 276 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 22 y 286.4 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 3.37 y 7.4, mientras que los resultados de laboratorio indican valores entre 3.53 y 6.26. En las estaciones M24A y M26A se registraron valores de pH de laboratorio ligeramente más ácidos en comparación a los resultados obtenidos en campo, esto estaría relacionado a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio.

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	0.095	3.451	1.317	-
*Antimonio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	5	2	<LD	0.00577	NA	-
*Bario Total	5	5	0.0048	0.0173	0.0135	-
*Berilio Total	5	1	<LD	0.00014	NA	-
Bismuto Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Boro Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Cadmio Total	5	3	<LD	0.0014	0.0005	-
*Cadmio Disuelto	5	3	<LD	**0.00127**	0.00046	3
Calcio Total	5	5	0.244	41.475	12.84	-
Cerio Total	5	2	<LD	0.00387	NA	-
Cesio Total	5	2	<LD	0.0006	NA	-
*Cobalto Total	5	4	<LD	0.0092	0.0038	-
*Cobre Total	5	4	<LD	**0.21347**	0.07388	1
*Cromo Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estaño Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	5	5	0.0033	0.1286	0.0420	-
Fósforo Total	5	1	<LD	0.054	NA	-

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
Galio Total	5	1	<LD	0.00032	NA	-
Germanio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Hafnio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	5	5	0.1194	4.2925	1.2832	-
Lantano Total	5	1	<LD	0.002	NA	-
*Litio Total	5	2	<LD	0.0016	NA	-
Lutecio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Magnesio Total	5	5	0.109	2.03	0.856	-
*Manganeso Total	5	5	0.01029	0.17978	0.04976	-
*Mercurio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Molibdeno Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Niobio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Niquel Total	5	4	<LD	0.0098	0.0041	-
Plata Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Plomo Total	5	3	<LD	0.0828	0.0187	-
Potasio Total	5	5	0.29	3.53	1.05	-
Rubidio Total	5	3	<LD	0.0105	0.0036	-
*Selenio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Silice Total	5	5	1.88	22.87	8.55	-
Silicio Total	5	5	0.88	10.69	4.00	-
Sodio Total	5	5	0.125	1.454	0.603	-
*Talio Total	5	1	<LD	**0.01948**	NA	1
Tantalio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Teluro Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Thorio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Titanio Total	5	3	<LD	0.006	0.00184	-
Uranio Total	5	1	<LD	0.000109	NA	-
Vanadio Total	5	1	<LD	0.0021	NA	-
Wolframio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	5	1	<LD	0.00007	NA	-
*Zinc Total	5	4	<LD	**0.3991**	0.1032	1
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, boro, cromo, mercurio y selenio no estuvieron presentes en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como arsénico y berilio, 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 1.317 mg/L; variaron entre un valor mínimo de 0.095 mg/L (estación M26A) y un valor máximo de 3.451 mg/L (estación M38). 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 del ECA de agua.

Bario Total

El bario total estuvo presente en la totalidad de las muestras analizadas. En las aguas relacionadas a la categoría 3 del ECA, este metal varió en un rango de entre un mínimo de 0.0048 mg/L (estación M8) y un máximo de 0.0173 mg/L (estación PA-04). 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.

Cobalto Total

El cobalto fue detectado en cuatro puntos de muestreo relacionados a las categorías 3 y 4 del ECA, con un valor promedio de 0.0038 mg/L, en un rango que va desde un valor mínimo de <LD (<0.00003 mg/L) y un máximo de 0.0092 mg/L (estación M38). Todas estas concentraciones halladas en las muestras evaluadas cumplen con los valores de referencia indicados en la categoría 3 del ECA de agua.

Cobre Total

Se obtuvo una concentración promedio de cobre total de 0.07388 mg/L, con un valor mínimo de <LD (<0.00009 mg/L), y un valor máximo de 0.21347 mg/L en la estación M38. Este último punto de muestreo mencionado, ubicado en la Quebrada Quinuacucho, 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); sin embargo, excedería ligeramente los 0.2 mg/L que indica el valor de referencia para la categoría 3 del ECA relacionado al riego de vegetales, y además los 0.1 mg/L que indica 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, que sumados al bajo valor de pH permite la lixiviación de este tipo de metales.

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. Estas concentraciones de 0.00026 mg/L, 0.00069 mg/L y 0.00127 mg/L, obtenidas en los puntos M24A, M38 y PA-04 respectivamente, son recurrentes de acuerdo a las evaluaciones previas, y estarían asociadas a la propia geología del lugar.

Hierro Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron un valor promedio de 1.2832 mg/L, con concentraciones que varían entre 0.1194 mg/L (estación M24A) y 4.2925 mg/L (estación M38). 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 0.109 mg/L y 2.03 mg/L. Todas las estaciones cumplen con el valor de referencia de 250 mg/L indicado en la categoría 3 del ECA de agua.

Manganeso Total

En las aguas relacionadas a la categoría 3 del ECA, este metal varió en un rango de entre un mínimo de 0.01029 mg/L (estación PA-04) y un máximo de 0.17978 mg/L (estación M38). Cabe indicar que las concentraciones de manganeso total registradas se encontraron muy por debajo de los valores de referencia indicados en los ECA de agua.

Talio Total

De las cinco estaciones de monitoreo en cuatro de ellas no fue detectado; no obstante, en el punto PA-04 presentó una concentración de 0.01948 mg/L de talio total. En ese sentido, este punto excedería el lineamiento de la categoría 4-E2 del ECA de agua (0.0008 mg/L); esta excedencia estaría relacionada a la ubicación del punto PA-04, el cual estaría recibiendo influencia de la geología propia del cerro Hillorrico, y el pasivo ambiental cerrado.

Zinc Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron concentraciones que varían entre <LD (<0.0026 mg/L en la estación M26A) y 0.3991 mg/L (estación PA-04). Este último valor mencionado, cumpliría los lineamientos de la categoría 3 del ECA, pero excedería 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 estaría relacionado a la geología de la zona.

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Como parte de la evaluación de las aguas asociadas a la categoría 3 del ECA de agua, se efectuó el análisis de coliformes fecales, además de 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		X		Organismo de Vida Libre Algas	
S33	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas	
M24A	3 y 4					Cd Disuelto
M26A	3 y 4					

Estación	Categoría Aplicable*	Parámetros que exceden los ECA de Referencia				
		In-Situ		Fisicoquímicos	Microbiológicos	Metales Totales
		pH**	OD			
M38	3 y 4	X		Fósforo Total		Cu, Cd Disuelto
M8	3 y 4	X				
PA-04	3 y 4	X				Tl, Zn, Cd Disuelto

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

4.4 Evaluación Hidroquímica

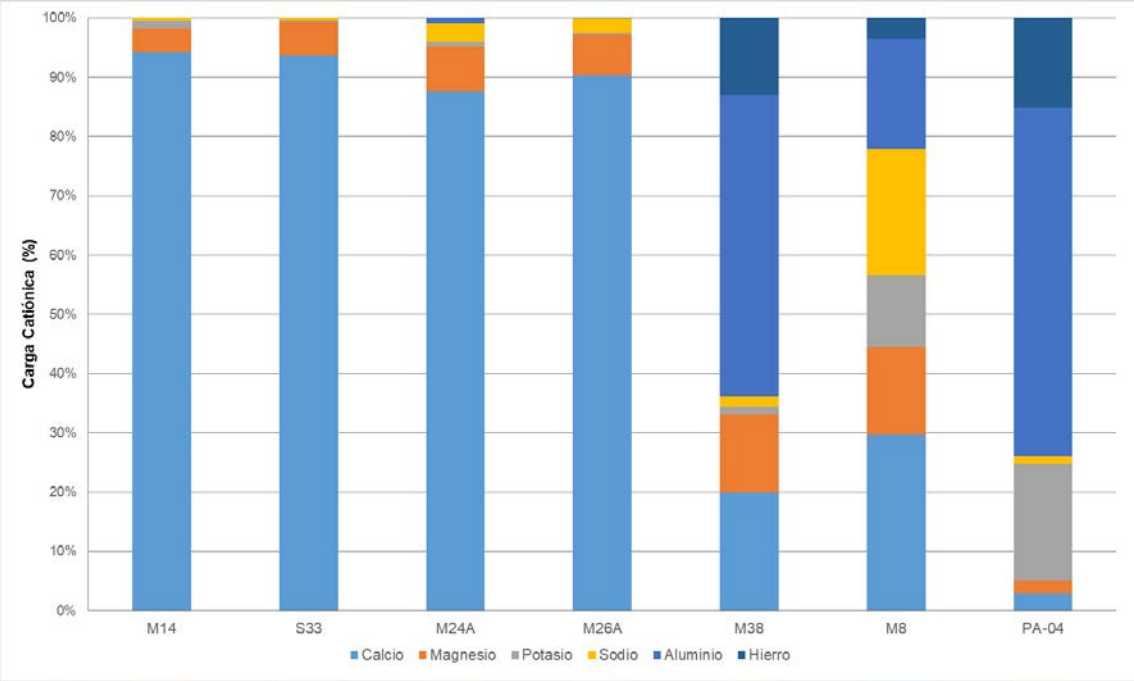
Respecto a la química de los iones principales, en la Tabla 4-8 se presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de calidad de agua, estos valores se expresan en miliequivalentes con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica de las 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	1.950	0.082	0.028	0.009	0.000	0.000	1.584	0.009	0.002	0.001	0.193	0.008
S33	3.604	0.226	0.006	0.015	0.000	0.000	3.864	0.013	0.010	0.003	0.075	0.019
M24A	0.986	0.086	0.009	0.034	0.011	0.000	0.925	0.003	0.017	0.001	0.155	0.008
M26A	2.050	0.156	0.006	0.056	0.003	0.000	2.176	0.008	0.013	0.002	0.050	0.009
M38	0.091	0.062	0.005	0.008	0.235	0.060	0.000	0.000	0.003	0.001	0.407	0.005
M8	0.027	0.013	0.011	0.019	0.017	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.079	0.001
PA-04	0.011	0.009	0.076	0.005	0.229	0.059	0.000	0.000	0.002	0.001	0.396	0.000

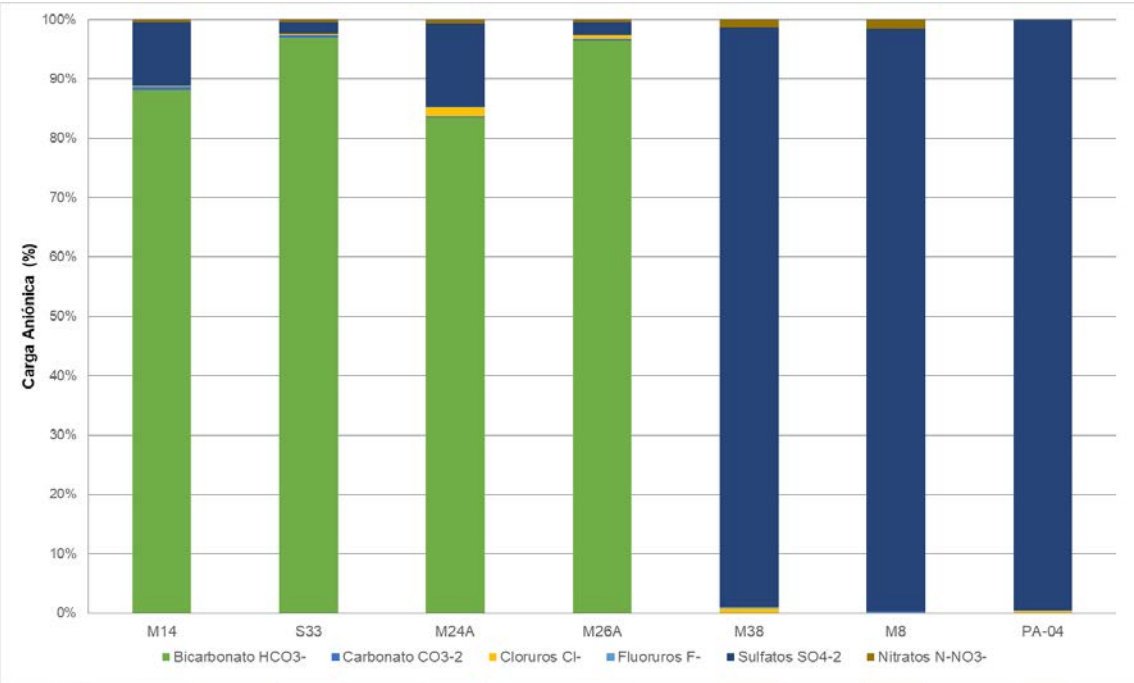
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-1, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona II corresponde al Calcio, primando en cuatro (4) de los siete (7) puntos evaluados, variando desde el 88% hasta el 94% de la de la carga catiónica total (CCT). Las tres (3) estaciones de muestreo restantes, presentan una carga catiónica total donde predomina el aluminio y/o una carga mixta (calcio, sodio y/o aluminio).

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 83% y 97%. 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 98% y 99%.

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



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

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

Estación	Catión predominante	Anión predominante	Tipo de Agua	Denominación
M14	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S33	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M24A	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M26A	Ca	HCO3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M38	Al	SO4	Al-SO_4	Aluminio Sulfato
M8	Ca - Na - Al	SO4	Al-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:

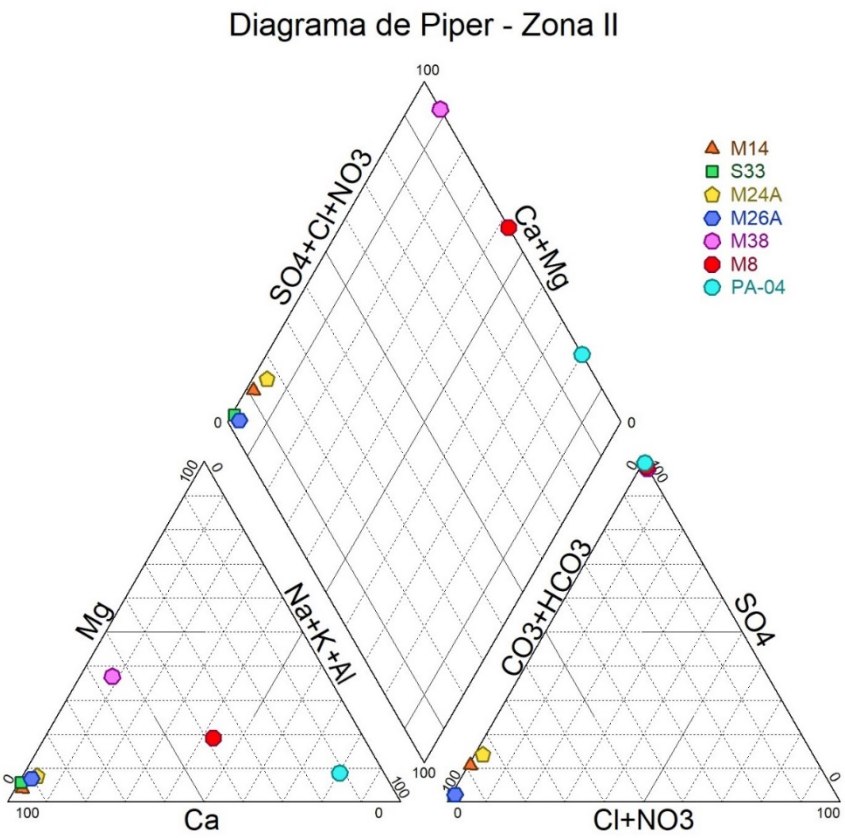
- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo M14, S33, M24A y M26A, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (90 a 272 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (55.6 a 232.2 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.29 a 7.57). En todas 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 las muestras M38 y PA-04. Está caracterizada por presentar una moderada concentración de STD (111 mg/L y 108 mg/L respectivamente), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (3.56 y 3.37 respectivamente). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M8. 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, sodio y aluminio. Presenta un pH ligeramente ácido (5.43), alcalinidad nula, baja concentración de STD (14 mg/L) y baja conductividad eléctrica (12.95 uS/cm).

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	**8.7**	279	9.46	12.5	23.8

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 alcalinas con un valor de pH de 8.7, el cual excedería ligeramente el límite superior del rango de referencia indicados en la categoría 3 del ECA. La conductividad eléctrica es moderada con un valor de 279 µS/cm, una concentración de oxígeno disuelto óptima de 9.46 mg/L y un valor de turbidez medio de 23.8 NTU; para todos estos parámetros los resultados cumplieron el ECA.

6 Resultados del procedimiento de control de calidad

6.1 Blanco viajero

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.

Respecto a los resultados de la muestra de blanco viajero (BK-viajero), estos indican que se detectaron concentraciones mayores al límite de detección en seis (6) parámetros, correspondiendo a un 5.5% del total de parámetros analizados. Estas concentraciones detectadas en berilio, calcio, magnesio y zinc son muy bajas y corresponderían a pequeñas trazas de metales en el agua destilada; además, en tres de estos casos la concentración indicada es menor a cinco veces el límite de detección (5*LD) del método, lo que indicaría cierto grado de incertidumbre y no invalidaría 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 (%);

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

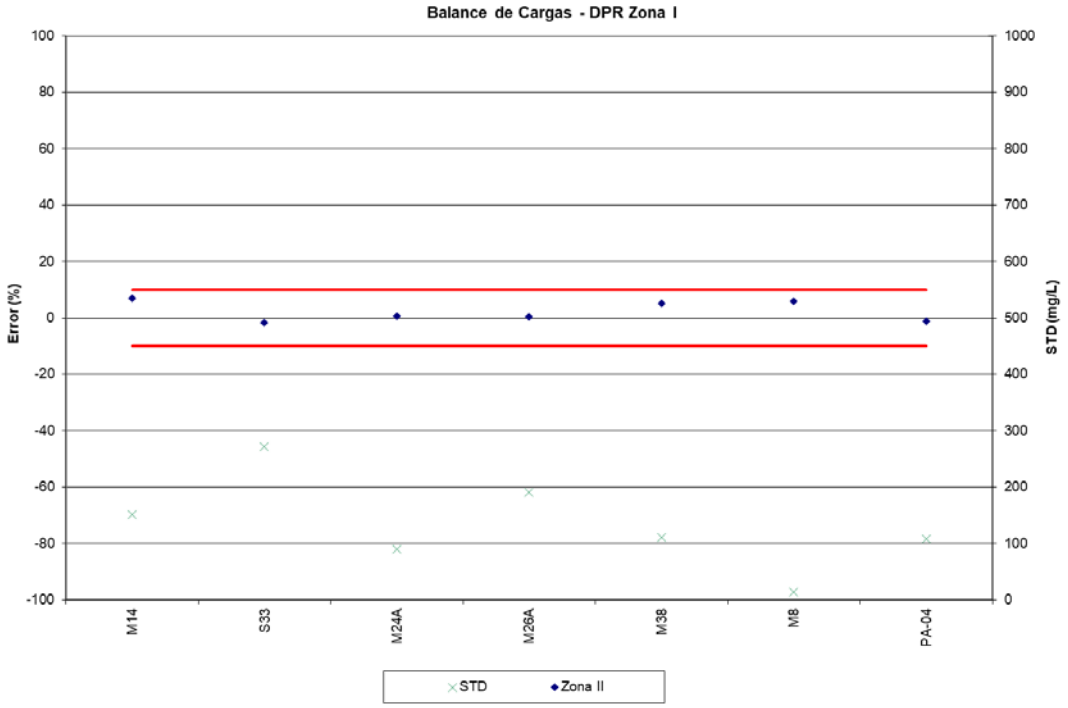
Σm_a: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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 todos los casos el porcentaje de error varía en el rango aceptable de ± 10%, lo que validaría el balance de cargas y la evaluación de los analitos.

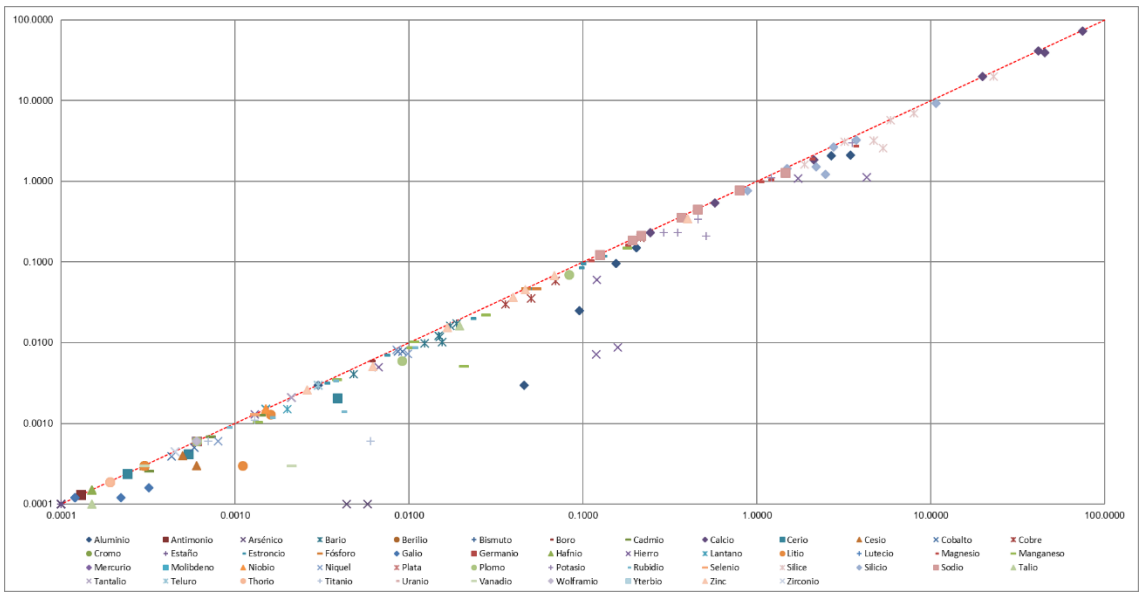
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona II



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; el oxígeno disuelto en el punto M14 se encontró ligeramente por debajo del valor mínimo de referencia indicado en el ECA, mientras que en el punto S33 cumplió con el lineamiento de la norma. Este valor bajo de oxígeno disuelto, estaría asociado al estancamiento y confinamiento de las aguas para el aprovechamiento humano.

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones M14 y S33 (8 y 16 organismos/L respectivamente). 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. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua.

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

- *Aguas Categoría 3 y 4:*

Los puntos de muestreo M24A y M26A, presentan un pH neutro (7.24 y 7.40 respectivamente), los cuales cumplen los valores de referencia indicados en los ECA para ambas categorías. En cambio, los puntos M38, M8 y PA-04 presentaron valores de pH ácidos, los cuales varían entre 3.37 y 5.43, 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.

Se detectó una concentración de fósforo total en el punto M38, el cual excedería ligeramente el valor de referencia indicado en la categoría 4-E2 del ECA. Esta excedencia estaría relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes en actividades de terceros y en oportunidades a características del propio suelo.

Se presentaron excedencias respecto a la categoría 4-E2 del ECA para el parámetro cadmio disuelto en los puntos de muestreo M24A, M38 y PA-04. El cobre en la estación M38 cumple con la categoría 3 del ECA; sin embargo, excede ligeramente la categoría 4-E2 de la norma. De manera similar, se presentaron excedencias en el punto de muestreo PA-04 en los parámetros de talio total y zinc total, donde este último cumpliría la categoría 3 del ECA, pero excedería ligeramente la categoría 4-E2 del mismo.

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

En relación al punto de muestreo donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo (M35), se registró un valor de pH alcalino que superaría ligeramente los ECA; no obstante, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la turbidez, cumplieron con la categoría 3 de la norma.

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 (90 a 272 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (55.6 a 232.2 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.29 a 7.57). 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 las muestras M38 y PA-04. Está caracterizada por presentar una moderada concentración de STD (111 mg/L y 108 mg/L respectivamente), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (3.56 y 3.37 respectivamente). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M8. 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, sodio y aluminio. Presenta un pH ligeramente ácido (5.43), alcalinidad nula, baja concentración de STD (14 mg/L) y baja conductividad eléctrica (12.95 uS/cm).

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, por lo que estos pueden ser considerados representativos del lugar.

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.

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.