PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA HÚMEDA 2022

INFORME ZONA III

Revisión 0

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.

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

Santiago de Surco - Perú

T. (511) 616-3500

F. (511) 616-3525

Preparado por:

ING. ALICIA ROMERO

Especialista Ambiental Senior

CIP 44433

LIMA, ENERO 2023

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 5

1.1 Introducción 5

1.2 Participación de la población local 5

2 METODOLOGÍA 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 24

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1 24

4.3.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 24

4.3.2 Parámetros fisicoquímicos 24

4.3.3 Metales de interés ambiental 26

4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 27

4.4 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona III 28

4.5 Evaluación Hidroquímica 28

5 RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD 32

5.1 Blanco viajero 32

5.2 Balance de cargas 32

5.3 Análisis de duplicados 33

5.4 Comparación entre metales totales y disueltos 34

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35

7 REFERENCIAS 37

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona III 6

Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona III 6

Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría 7

Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial y Límites Máximos Permisibles 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 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4 21

Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 21

Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4 22

Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 4-E1 24

Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4-E1 24

Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 4-E1 26

Tabla 4-9 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial 28

Tabla 4-10 Concentración de Iones Principales en la Zona III 28

Tabla 4-11 Resumen de Tipos de Agua en la Zona III del Proyecto 30

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 III 29

Figura 4-2 Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona III 29

Figura 4-3 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona III 31
Figura 5-1 Error de Balance Iónico - Zona III 33
Figura 5-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados 34
Figura 5-3 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 laboratorio
Anexo B Memoria fotográfica
Anexo C Actas de participación
Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo
Anexo E Fichas de información de campo
Anexo F Registros de aforo
Anexo G Cadenas de Custodia
Anexo H Informes de ensayo de laboratorio
Anexo I Certificados de calibración

1 Introducción

1.1 Introducción

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

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

El presente informe muestra los resultados de la campaña de monitoreo semestral de calidad de aguas en la Zona III (Microcuenca de la Quebrada Chirimayo) del Proyecto El Galeno. Los monitoreos efectuados corresponden a la temporada húmeda 2022, y fueron desarrollados los días 30 de noviembre y 05 de diciembre del 2022.

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.

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

1.2 Participación de la población local

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

- Oscar Zelada, teniente gobernador de Lipiac, participó en el monitoreo de agua el día 30 de noviembre, en el punto M28.
- Gilberto Zelada Arce, presidente de la JASS La Chorrera, participó en el monitoreo de agua el día 05 de diciembre, en el punto S27.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Anunciación Huamán Chávez, quien participó en el monitoreo de agua el día 05 de diciembre
- Manuel Salazar Llanos, quien participó en el monitoreo de agua el 30 de noviembre.
- Olger Tacilla Alvarado, quien participó en el monitoreo de agua el día 30 de noviembre y 05 de diciembre.

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 III se cuentan con 7 puntos de evaluación, de los cuales, en seis (6) 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 III - Temporada húmeda 2022); mientras que, en el punto restante, únicamente se registran parámetros de campo (ver Mapa 2.2, Ubicación de puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo - Zona III - Temporada húmeda 2022.

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

En la Tabla 2-1 se presenta la ubicación y descripción de los seis (6) 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. 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 III

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S		Altitud	Descripción	Categoría ECA	Efectuado
	Norte	Este				
S27	9 229 793	796 610	3 853	ACD en La Chorrera	1-A1	Si(1)
M28	9 230 813	796 560	3 714	Quebrada La Chorrera	3	Si
SAR-01	9 230 136	798 392	3 744	Quebrada Sartenes	3	No(2)
M27	9 229 745	795 918	3 779	Laguna Lipiac	4-E1	Si
M29	9 231 666	794 866	3 778	Laguna Alforjacocha	4-E1	Si
PA-01**	9 229 936	798 100	3 787	Pasivo ambiental en Los Sartenes	-	No(3)

Notas:
ACD = agua para consumo doméstico
(1) Solo se efectuó el muestreo de calidad aguas, no se puedo realizar la medición de caudales porque el reservorio se encontraba cerrado.
(2) No se realizó la medición porque el agua se encontraba estancada.
(3) No se realizó la medición porque no se encontró flujo de agua.
** Pasivo ambiental es comparado con LMP de efluentes mineros - D.S. N° 010-2010-MINAM

2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

En la Tabla 2-2 se presenta la ubicación y descripción del punto donde se efectúan únicamente 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 III

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S		Altitud	Descripción	Categoría ECA	Efectuado
	Norte	Este				
M15	9 229 712	796 644	3 751	Manantial en La Chorrera	3	No

Cabe indicar que no fue posible efectuar el monitoreo programado en el punto M15, puesto que no se cuenta con licencia social para el acceso a este lugar; por tanto, en los próximos capítulos no se considerará la descripción de este punto de muestreo.

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales

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

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

- 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).

Por otro lado, para el caso de los puntos evaluados que corresponden a pasivos ambientales, se caracterizan en base a los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 21 de agosto del 2010

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	LMP Efluentes mineros
Aceites y Grasas	X	X	X		X
Alcalinidad Total	X	X	X		X
Amoniaco		X	X		
Bromuro, Br-	X	X	X	X	X
Cianuro Total	X				X
Cianuro Wad		X			
Cianuro Libre		X	X		
Clorofila A			X		
Cloruros. Cl-	X	X	X	X	X
Color Verdadero	X	X	X		X
Conductividad	X	X	X		X
Cromo Hexavalente		X	X		X

Parámetro	Tipo de muestra analizada				
	ECA Categoría 1-A1	ECA Categoría 3 y 4	ECA Categoría 4	Muestras de Blanco	LMP Efluentes mineros
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	X	X	X		X
Demanda Química de Oxígeno	X	X			X
Detergentes Aniónicos		X			
Dureza Total	X				
Fenoles	X	X	X		
Fluoruros. F-	X	X	X	X	X
Fósforo Total	X	X	X		
Fosfatos, PO4-3	X	X	X	X	X
Nitratos. NO3-	X	X	X	X	X
Nitritos. NO2-	X	X	X	X	X
Nitrógeno Amoniacal	X				X
Nitrógeno Total			X		
pH	X	X	X		X
Sólidos Totales Disueltos	X	X	X		X
Sólidos Totales Suspendidos		X	X		X
Sulfatos. SO4-2	X	X	X	X	X
Sulfuros		X	X		
Turbidez	X	X	X		X
Metales disueltos	X	X	X	X	X
Metales totales	X	X	X	X	X
Coliformes Fecales o Termotolerantes	X	X	X		
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 y Límites Máximos Permisibles

Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)					LMP Efluente Minero (b)
		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	6.0-9.0
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	50
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	20
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)					LMP Efluente Minero (b)
		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	-	-		-	1
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)					LMP Efluente Minero (b)
		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	0.1
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	-	-	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	0.5
Cromo	mg/L	0.05	0.1	-	-	-	-
Hierro	mg/L	0.3	5	-	-	-	-
Hierro Disuelto	mg/L	-	-	-	-	-	2
Litio	mg/L	-	2.5	2.5	-	-	-
Magnesio	mg/L	-	-	250	-	-	-

Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)					LMP Efluente Minero (b)
		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	
Manganeso	mg/L	0.4	0.2	0.2	-	-	-
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.01	0.0001	0.0001	0.002
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	0.2
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	1.5
Cromo VI	mg/L	-	-	-	0.011	0.011	0.1
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	-

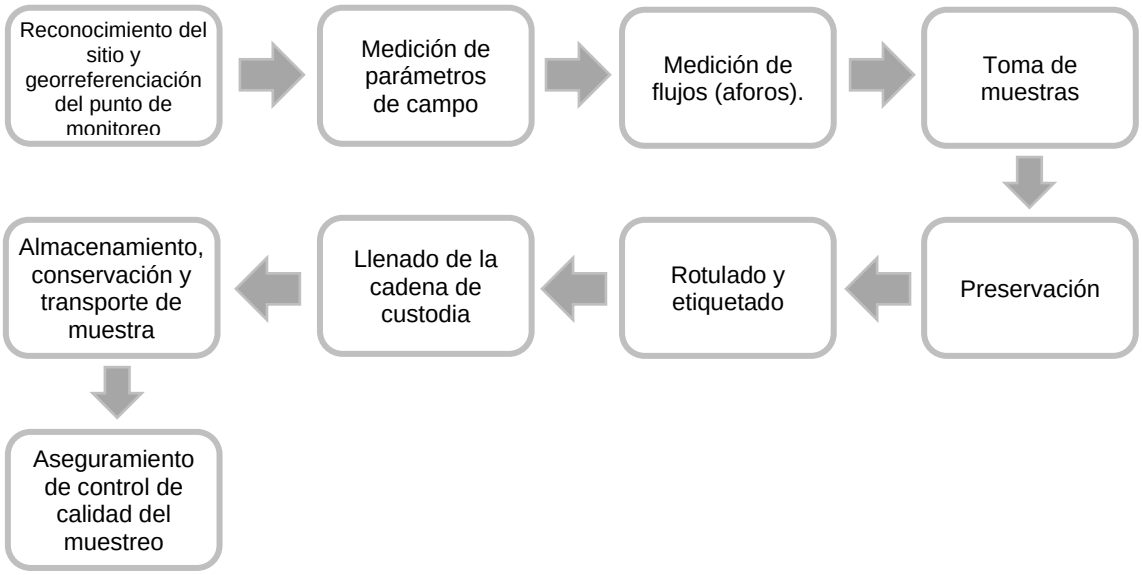
Notas:
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(b) LMP aprobado por D.S. N° 010-2010-MINAM
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

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 seis (6) muestras de agua que se indican en la Tabla 2-1, se analizan 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 parir de los muestreos realizado 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			
S27	ACD en La Chorrera	-	Reservorio cerrado
M28	Quebrada La Chorrera	15.85	
SAR-01	Quebrada Sartenes	-	Sin flujo
M27	Laguna Lipiac	-	Laguna
M29	Laguna Alforjacocha	-	Laguna
PA-01	Pasivo ambiental en Los Sartenes	-	Sin flujo
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
M15	Manantial en La Chorrera	-	Sin acceso social

Nota:
ACD = agua para consumo doméstico

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 III, 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 un punto asociado 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**
S27	ACD en La Chorrera	7.26	250	7.23	14.6	0.44

Nota:
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se supera la Categoría 1-A1 del ECA de agua.

La muestra de agua del punto S27 presentó una buena calidad al momento de efectuar la medición de parámetros de campo. El pH tuvo un valor neutro de 7.26 el cual cumple con lo indicado en los ECA. Por otro lado, el oxígeno disuelto presentó una óptima concentración de 7.23 mg/L; se registró una baja conductividad eléctrica (250 µS/cm); niveles bajos de turbidez, y un valor de temperatura en un rango normal; todos estos parámetros de campo evaluados cumplen con los ECA de agua.

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 S27	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	<LD	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	0.4	-
Alcalinidad Total	mgCaCO3/L	14.1	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	140.5	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	256.7	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	171	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	6.84	-

Parámetro	Unidad	Punto S27	Excede al ECA
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	0.026	-
Fósforo Total	mg P/L	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	-
Cianuro total	mg/L	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	-
Turbidez (campo)	NTU	0.44	-
Conductividad (campo)	uS/cm	250.00	-
Temperatura	°C	14.60	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	7.26	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.23	-

Notas:
<LD: Menor al Límite de Detección
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se supera la Categoría 1-A1 del ECA de agua.

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de color verdadero, fósforo total, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, aceites y grasas, cianuro total y fenoles. Asimismo, los demás parámetros presentados en la Tabla 4-2 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero éstos se encuentran en bajas concentraciones y por debajo de los ECA.

Existe buena concordancia entre el valor de conductividad eléctrica registrado en campo (250 µS/cm) y el correspondiente resultado de laboratorio (256.7 µS/cm). El pH mostró concordancia entre el valor medido en campo (7.26) y laboratorio (6.84). La concentración de sólidos totales disueltos medida en laboratorio guarda una excelente correlación con la conductividad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta agua podría ser considerada entre dura a muy dura (dureza de 140.5 mg CaCO3/L).

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 S27	Excede al ECA
*Aluminio Total	<LD	-
*Antimonio Total	<LD	-
*Arsénico Total	<LD	-
*Bario Total	<LD	-
*Berilio Total	<LD	-
Bismuto Total	0.00012	-
*Boro Total	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto S27	Excede al ECA
*Cadmio Total	0.00032	-
Calcio Total	32.558	-
Cerio Total	<LD	-
Cesio Total	<LD	-
Cobalto Total	<LD	-
*Cobre Total	<LD	-
*Cromo Total	<LD	-
Estaño Total	<LD	-
Estroncio Total	0.0330	-
Fósforo Total	<LD	-
Galio Total	<LD	-
Germanio Total	<LD	-
Hafnio Total	<LD	-
*Hierro Total	<LD	-
Lantano Total	<LD	-
Litio Total	<LD	-
Lutecio Total	<LD	-
Magnesio Total	0.815	-
*Manganeso Total	<LD	-
*Mercurio Total	<LD	-
*Molibdeno Total	<LD	-
Niobio Total	<LD	-
*Niquel Total	<LD	-
Plata Total	<LD	-
*Plomo Total	0.0010	-
Potasio Total	1.13	-
Rubidio Total	0.0040	-
*Selenio Total	<LD	-
Silice Total	10.00	-
Silicio Total	4.67	-
Sodio Total	<LD	-
Talio Total	<LD	-
Tantalio Total	<LD	-
Teluro Total	<LD	-
Thorio Total	<LD	-
Titanio Total	<LD	-
*Uranio Total	<LD	-
Vanadio Total	<LD	-
Wolframio Total	<LD	-
Yterbio Total	<LD	-
*Zinc Total	0.0223	-

Metales (mg/L)	Punto S27	Excede al ECA
Zirconio Total	<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, de la lista de metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, solo se detectaron concentraciones de cadmio total, plomo y zinc. Los metales tales como aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, boro, cobre, cromo, hierro, mercurio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, selenio y uranio, fueron reportados como menores al límite de detección del método de laboratorio.

El metal más abundante es el calcio con una concentración de 32.558 mg/L. En todos los casos las concentraciones de metales se encontraron muy por debajo de la categoría 1-A1 de los ECA de agua.

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Coliformes Fecales y Totales

El valor reportado para los coliformes totales en el punto S27 fue de <LD (<1.8 NMP/100 mL), por tanto, se cumple con el estándar de referencia de 50 NMP/100 mL indicado en el ECA de agua. Asimismo, la concentración de coliformes fecales analizada, reportó un valor de <LD (<1.8 NMP/100 mL), por lo tanto, este valor cumple con el estándar establecido en los ECA.

Escherichia coli

La concentración de Escherichia coli analizada se encontró por debajo del límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL), por lo tanto, cumple los valores establecidos en el ECA de agua.

Otros parámetros microbiológicos

Se evaluaron otros parámetros microbiológicos, tales como Vibrio cholerae, organismos de vida libre, formas parasitarias, microcistina-LR, huevos y larvas de helmintos, guardia duodenalis y quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. 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, se tienen los puntos M28 y SAR-01, 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. Cabe precisar, que durante la evaluación de la Temporada Húmeda 2022, no se realizó la evaluación del punto SAR-01 por encontrarse el agua estancada, por tanto, a continuación, solo se describe el punto M28.

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**	**-**
M28	Quebrada La Chorrera	7.72	190.7	6.41	15.2	3.68

Los parámetros de campo evaluados presentaron valores neutros de pH, el oxígeno presentó una óptima concentración; se registraron valores altos de conductividad eléctrica y niveles bajos de turbidez. Todos los parámetros mencionados anteriormente, cumplen con los valores de referencia indicados en las categorías 3 y 4 de los ECA de agua.

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	Punto M28	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	7.2	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	1.6	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	140.6	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	205.3	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	139	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	<LD	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<LD	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	7.51	-
Amoníaco	mg NH3/L	0.073	-
Fósforo Total	mg P/L	**0.068**	Si
Sulfuro	mg/L	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	9.9	-
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	-
Cianuro libre	mg/L	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	-
Cianuro WAD	mg/L	<LD	-
Turbidez	NTU	3.68	-
Conductividad (campo)	uS/cm	190.7	-
Temperatura	°C	15.2	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	7.72	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.41	-

Notas:
<LD: Menor al Límite de Detección

Parámetro	Unidad	Punto M28	Excede al ECA

Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se supera alguna categoría (3 y 4) del ECA de agua.

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente, sulfuro, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles y cianuro WAD. Asimismo, los demás parámetros presentados en la Tabla 4-5 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero éstos se encuentran en bajas concentraciones y cumplen con los ECA, a excepción de una concentración de fósforo total (0.068 mg/L) que excedería el valor de referencia indicado en el ECA (0.05 mg/L); este valor estaría relacionado al uso de fertilizantes, jabones o detergentes en actividades de terceros y en ocasiones a características del propio suelo.

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

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)	Punto M28	Excedencia al ECA
*Aluminio Total	0.152	-
*Antimonio Total	0.00717	-
*Arsénico Total	0.01655	-
*Bario Total	0.0114	-
*Berilio Total	<LD	-
Bismuto Total	0.00044	-
*Boro Total	0.06	-
*Cadmio Total	<LD	-
*Cadmio Disuelto	<LD	-
Calcio Total	23.475	-
Cerio Total	<LD	-
Cesio Total	<LD	-
*Cobalto Total	0.00009	-
*Cobre Total	0.00214	-
*Cromo Total	<LD	-
Estaño Total	<LD	-
Estroncio Total	0.1087	-
Fósforo Total	0.081	-
Galio Total	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M28	Excedencia al ECA
Germanio Total	<LD	-
Hafnio Total	<LD	-
*Hierro Total	0.3556	-
Lantano Total	<LD	-
*Litio Total	<LD	-
Lutecio Total	<LD	-
*Magnesio Total	1.862	-
*Manganeso Total	0.02373	-
*Mercurio Total	<LD	-
Molibdeno Total	0.0005	-
Niobio Total	<LD	-
*Niquel Total	<LD	-
Plata Total	<LD	-
*Plomo Total	0.0019	-
Potasio Total	0.48	-
Rubidio Total	<LD	-
*Selenio Total	<LD	-
Silice Total	2.71	-
Silicio Total	1.27	-
Sodio Total	0.712	-
*Talio Total	0.00008	-
Tantalio Total	<LD	-
Teluro Total	<LD	-
Thorio Total	<LD	-
Titanio Total	0.0021	-
Uranio Total	0.000115	-
Vanadio Total	<LD	-
Wolframio Total	<LD	-
Yterbio Total	<LD	-
*Zinc Total	0.11	-
Zirconio Total	0.00046	-

Notas:
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 3 y/o categoría 4
<LD: Menor al Límite de Detección

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-6, de la lista de metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, solo se detectaron concentraciones de aluminio, antimonio, arsénico, bario, boro, cobalto, cobre, hierro, magnesio, manganeso, plomo, talio y zinc. Los metales tales como berilio, boro, cadmio total y disuelto, cromo, litio, mercurio, níquel y selenio, fueron reportados como menores al límite de detección del método de laboratorio. El punto M28 cumple con los valores de referencia para todos los metales indicados en las categorías 3 y 4 del ECA de agua.

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Las concentraciones de coliformes fecales analizadas se encontraron menores al límite de detección (<1.8 NMP/100 mL) en la estación M28, el cual cumpliría con el estándar establecido en los ECA.

Asimismo, como parte de la evaluación de las aguas asociadas a la categoría 3 del ECA de agua, se efectuó la numeración de *Escherichia coli*, y detección de Huevos de helmintos, donde para ambos casos los casos no se detectó la presencia de estos.

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

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1

El programa de monitoreo incluye dos (2) puntos de muestreo asociados a la categoría 4-E1 del ECA de agua, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.3.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M27	Laguna Lipiac	**3.61**	97.60	6.40	16.10	1.02
M29	Laguna Alforjacocha	8.16	275.00	6.53	15.20	1.79

Notas:
ACD = agua para consumo doméstico
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 4-E1)

El punto de muestreo M27, ubicado en la Laguna Lipiac, presentó un valor de 3.61 de pH, el cual se encuentra fuera del rango indicado en la categoría 4 del ECA. Este valor estaría asociado a la geología de la zona, ya que la Laguna Lipiac se encontraría en un área mineralizada. Por el contrario, la Laguna Alforjacocha (M29) presentó un pH ligeramente alcalino, el cual cumpliría los lineamientos indicados en la normativa.

En la Laguna Lipiac la conductividad eléctrica fue baja (97.60 µS/cm) y en la Laguna Alforjacocha se obtuvo un valor medio (275 µS/cm). En ambas estaciones se obtuvieron concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto, y niveles bajos de turbidez. Estos parámetros mencionados, cumplirían con los ECA de agua en ambas lagunas.

4.3.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-8, se presenta el resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos; asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

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

Parámetro	Unidad	Punto M27	Punto M29	Excedencias al ECA
Clorofila A	mg/L	<LD	<LD	-

Parámetro	Unidad	Punto M27	Punto M29	Excedencias al ECA
Color Verdadero	UC	<LD	7.2	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	0.8	0.8	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	<LD	123.5	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	90.3	291.2	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	55	194	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	<LD	<LD	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<LD	<LD	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	**5.07**	7.97	1*
Amoníaco	mg NH3/L	0.047	0.077	-
Nitrógeno Total	mg N/L	0.21	**0.82**	1
Fósforo Total	mg P/L	<LD	**0.072**	1
Sulfuro	mg/L	<LD	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	<LD	-
Cianuro total	mg/L	<LD	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	<LD	-
Turbidez (campo)	NTU	1.02	1.79	-
Conductividad (campo)	uS/cm	97.60	275.00	-
Temperatura	°C	16.10	15.20	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	**3.61**	8.16	1
Oxígeno disuelto	mg/L	6.40	6.53	-

Notas:
<LD: Menor al Límite de Detección
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 4-E1)
* Los valores de pH evaluados en laboratorio son comparados de manera referencial con los ECA de agua, dado que, según la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales) este parámetro debe ser analizado *in-situ* (en campo).

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de clorofila A, sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, aceites y grasas, cianuro libre y fenoles. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-5 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero, estos se encuentran en bajas concentraciones, las cuales no llegan a exceder los ECA. Sin embargo, se presentan excedencias puntuales en pH, nitrógeno total y fósforo total.

En la estación M29, se detectaron concentraciones de nitrógeno total y fósforo total, que excederían ligeramente los valores de referencia indicados en la categoría 4-E1 del ECA (0.315 mg/L para nitrógeno total y 0.035 mg/L para fósforo total). Estas ligeras excedencias podrían deberse a los restos de comida balanceada o excremento de los peces que la población local cría en la laguna, a la presencia de ganado o a procesos de eutrofización. Coincidentemente, los valores de amoniaco y nitratos son mayores en la Laguna Lipiac que en otras lagunas monitoreadas (aunque no llegan a exceder los ECA correspondientes).

Al igual que en el resto de los puntos de otras categorías, existe una muy buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo fueron 97.60 µS/cm y 275 µS/cm (M27 y M29 respectivamente), mientras que los resultados de laboratorio fueron 90.3 µS/cm y 291.2 µS/cm respectivamente.

4.3.3 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 4-9, se presenta el resumen de resultados para metales totales, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

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

Metales (mg/L)	Punto M27	Punto M29	Excedencias al ECA
Aluminio Total	0.915	<LD	-
*Antimonio Total	<LD	<LD	-
*Arsénico Total	0.00164	<LD	-
*Bario Total	0.0121	0.0077	-
Berilio Total	<LD	<LD	-
Bismuto Total	<LD	0.00016	-
Boro Total	0.054	<LD	-
Cadmio Total	<LD	<LD	-
Cadmio Disuelto	<LD	<LD	-
Calcio Total	2.612	52.016	-
Cerio Total	<LD	<LD	-
Cesio Total	0.0003	<LD	-
Cobalto Total	0.00070	<LD	-
*Cobre Total	0.00138	<LD	-
Cromo Total	<LD	<LD	-
Estaño Total	<LD	<LD	-
Estroncio Total	0.0115	0.1723	-
Fósforo Total	<LD	0.071	-
Galio Total	<LD	<LD	-
Germanio Total	<LD	<LD	-
Hafnio Total	<LD	<LD	-
Hierro Total	0.5147	<LD	-
Lantano Total	<LD	<LD	-
Litio Total	<LD	<LD	-
Lutecio Total	<LD	<LD	-
Magnesio Total	0.129	2.962	-
Manganeso Total	0.03155	0.00701	-
*Mercurio Total	<LD	<LD	-
Molibdeno Total	<LD	0.00017	-
Niobio Total	<LD	<LD	-
*Niquel Total	0.0009	<LD	-
Plata Total	<LD	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M27	Punto M29	Excedencias al ECA
*Plomo Total	0.0060	<LD	1
Potasio Total	0.37	0.30	-
Rubidio Total	0.0011	<LD	-
*Selenio Total	<LD	<LD	-
Silice Total	2.40	6.38	-
Silicio Total	1.12	2.98	-
Sodio Total	1.413	<LD	-
*Talio Total	0.00030	<LD	-
Tantalio Total	<LD	<LD	-
Teluro Total	<LD	<LD	-
Thorio Total	<LD	<LD	-
Titanio Total	<LD	<LD	-
Uranio Total	<LD	0.000135	-
Vanadio Total	<LD	<LD	-
Wolframio Total	<LD	<LD	-
Yterbio Total	<LD	<LD	-
*Zinc Total	0.1029	0.0065	-
Zirconio Total	<LD	<LD	-

Notas:
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 4-E1
<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 4-E1)

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-9, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, se reportaron en su mayoría por debajo del límite de detección del método (<LD), o en algunos casos estos se encuentran en bajas concentraciones en las muestras de agua analizadas, y casi en la totalidad de los casos dichos valores se encontraron muy por debajo del ECA de referencia.

Se presentó una única concentración de plomo total mayor al límite de detección del método de análisis, la cual alcanzó un valor de 0.0060 mg/L en el punto M27. Esta concentración excedería el lineamiento de la categoría 4-E1 del ECA de agua (0.0025mg/L); esta excedencia estaría relacionada a la ubicación del punto del punto M27, la cual se encuentra alrededor de la zona mineralizada.

Para todos los demás metales las concentraciones halladas cumplen con los lineamientos de referencia indicados en los ECA de agua.

4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Se efectuó el análisis de coliformes totales y fecales en los puntos M27 y M29, sin embargo, según los informes de laboratorio, para ambos puntos de evaluación se reportaron concentraciones menores al límite de detección (<1.8 NMP/100 mL), las cuales para todos los casos cumplirían los ECA.

4.4 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona III

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

Tabla 4-10 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial

Estación	Categoría Aplicable*	Parámetros que exceden los ECA de Referencia				
		In-Situ		Fisicoquímicos	Microbiológicos	Metales Totales
		pH**	OD			
S27	1-A1					
M28	3 y 4					
M27	4-E1	X				Pb
M29	4-E1			Fósforo Total, Nitrógeno Total		

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.
*** LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM)

4.5 Evaluación Hidroquímica

Respecto a la química de los iones principales, en la Tabla 4-11 se presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de calidad de agua, estos valores se expresan en miliequivalentes con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica de las aguas.

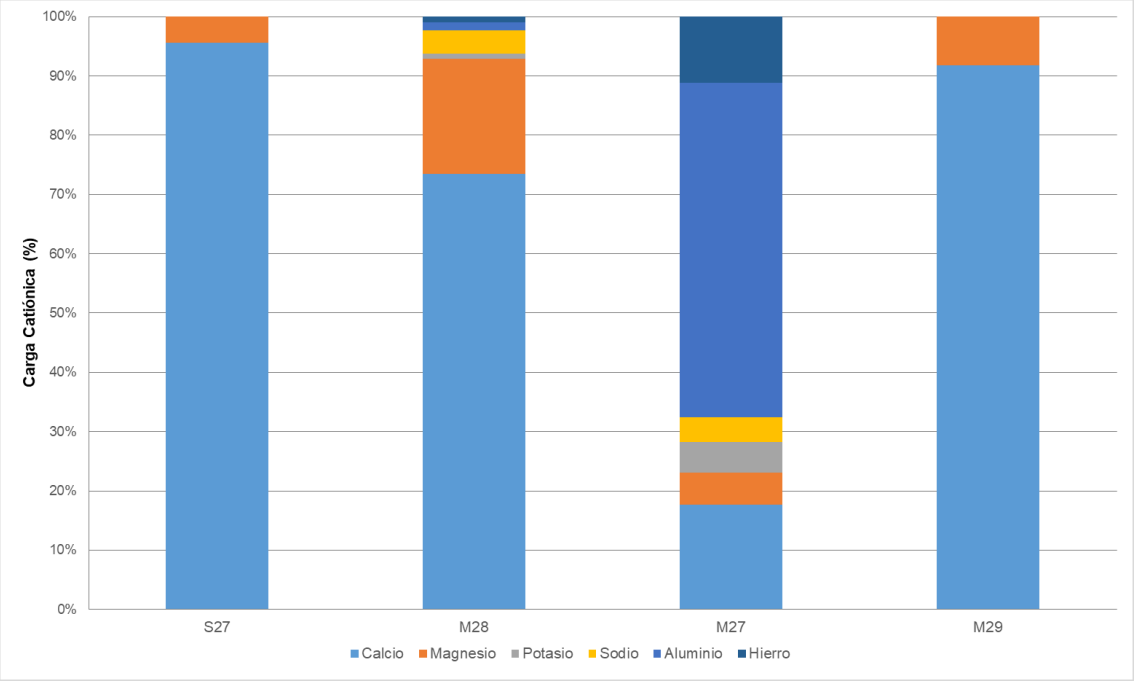
Tabla 4-11 Concentración de Iones Principales en la Zona III

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}	$N\text{-}NO_3^-$
S27	1.453	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.235	0.001	0.004	0.001	0.453	0.008
M28	0.552	0.146	0.007	0.030	0.010	0.007	2.334	0.019	0.044	0.002	0.238	0.004
M27	0.031	0.009	0.009	0.007	0.099	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.059	0.000
M29	1.756	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	2.034	0.047	0.009	0.001	0.413	0.001

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.

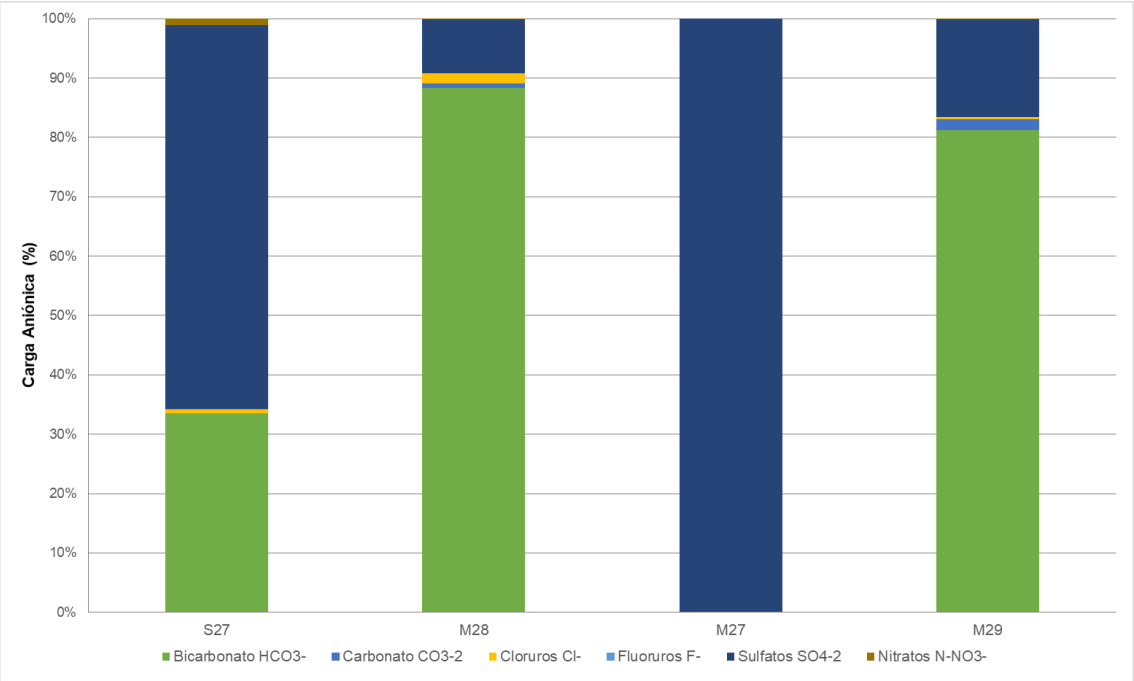
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-1, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona III corresponde al Calcio, primando en tres puntos evaluados, variando desde el 73% hasta el 96% de la carga catiónica total (CCT).

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



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 III, primando en dos (2) puntos de muestreo, con una carga aniónica total que varía entre 81% y 88%. De manera contraria, en las estaciones restantes, el sulfato es el ion que prevalece sobre los demás, con una carga aniónica total que varía entre 65% y 99%.

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



En base a lo descrito anteriormente, se realizó la clasificación de los tipos de agua presentes en la Zona III del Proyecto, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12 Resumen de Tipos de Agua en la Zona III del Proyecto

Estación	Catión predominante	Anión predominante	Tipo de Agua	Denominación
S27	Ca	SO_4	Ca-SO_4	Sulfatada Cálcica
M28	Ca	HCO_3	Ca - HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M27	Al	SO_4	Al-SO_4	Sulfatada Alumínica
M29	Ca	HCO_3	Ca- HCO_3	Bicarbonatada Cálcica

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 4-12, los tipos químicos de agua identificados en la Zona III son los siguientes:

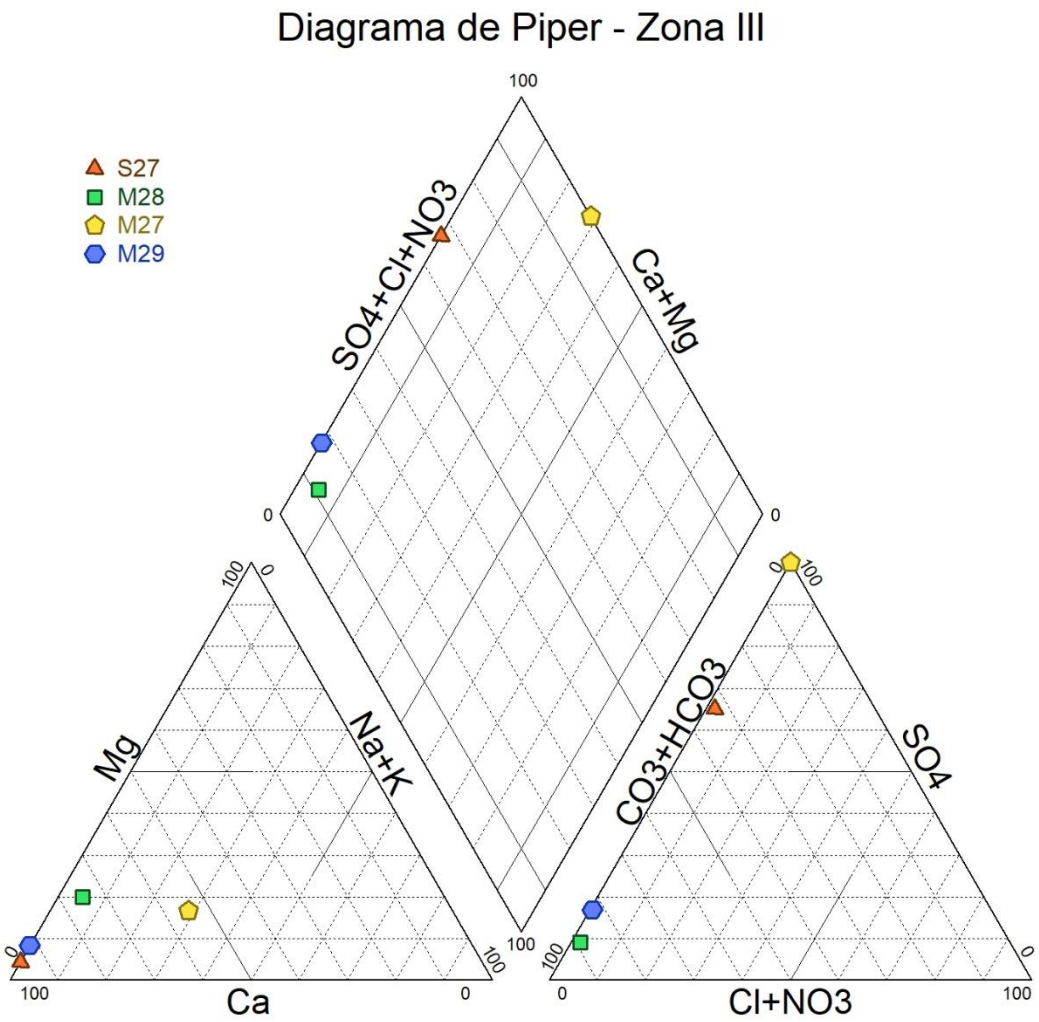
- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo M28 y M29, las muestras presentaron en general una moderada concentración de STD (139 a 194 mg/L), una alcalinidad alta (140.6 a 123.5 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.72 a 8.16). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Sulfatadas - Alumínicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27. El anión predominante es el sulfato, mientras que el catión predominante es el aluminio. Presenta un pH ácido (3.61), alcalinidad nula, baja concentración de STD (55 mg/L) y baja conductividad eléctrica (97.6 uS/cm).

- Agua Sulfatada – Cálcica. Este tipo de agua correspondería a la muestra S27. El anión predominante es el sulfato por encima del bicarbonato (65% versus 35% respectivamente). El catión predominante es marcadamente el calcio. Estas aguas presentan un pH neutro y una alcalinidad media (ambas características por la presencia de carbonatos), y una moderada concentración de STD (171 mg/L). En evaluaciones previas, estas aguas habían sido caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas, por lo que, para poder describir adecuadamente este tipo de agua, se recomienda considerar en otros estudios, periodos de análisis más prolongados.

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 III



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

5 Resultados del procedimiento de control de calidad

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

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

5.2 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

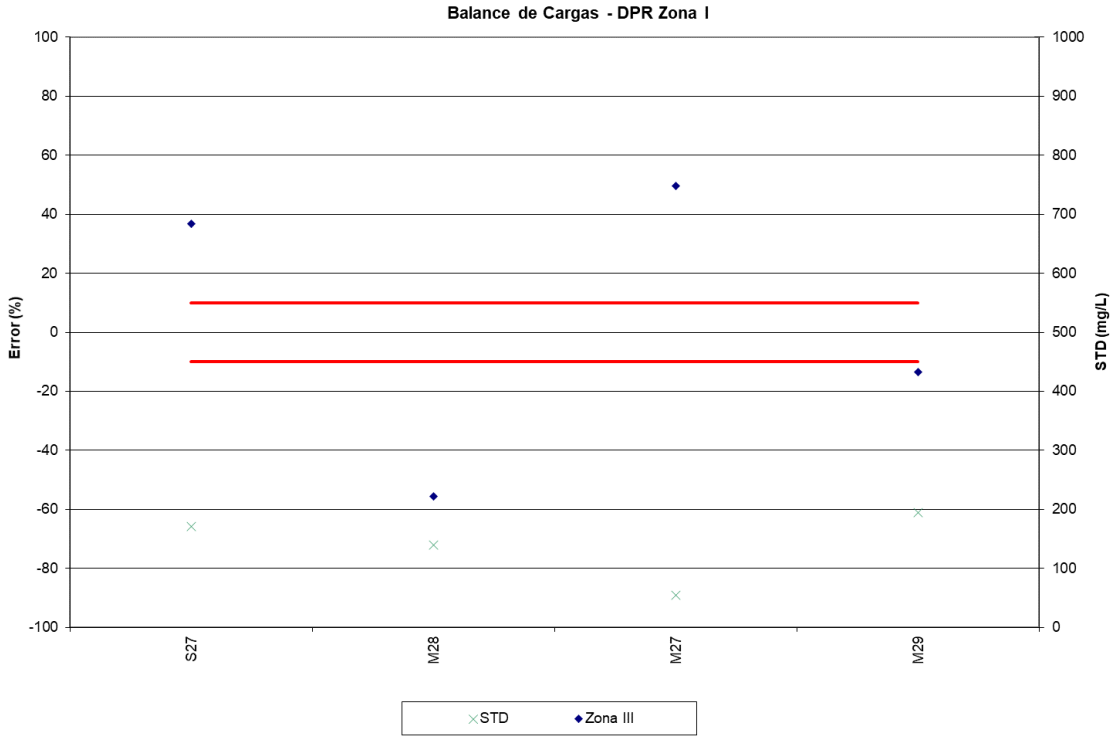
Σm_a: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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 5-1, se presenta de manera gráfica el error de balance iónico obtenido para cada estación. Se observa que en la totalidad estaciones el porcentaje de error se aleja del rango aceptable. Sin embargo, Hem (1985) estableció que errores de carga son inevitables algunas veces cuando el total de cationes y aniones es menor que 5 meq/L, por tanto, cuanto más pequeño el total de iones presentes en la muestra, mayor es la probabilidad de obtener imbalances de carga.

Figura 5-1 Error de Balance Iónico - Zona III

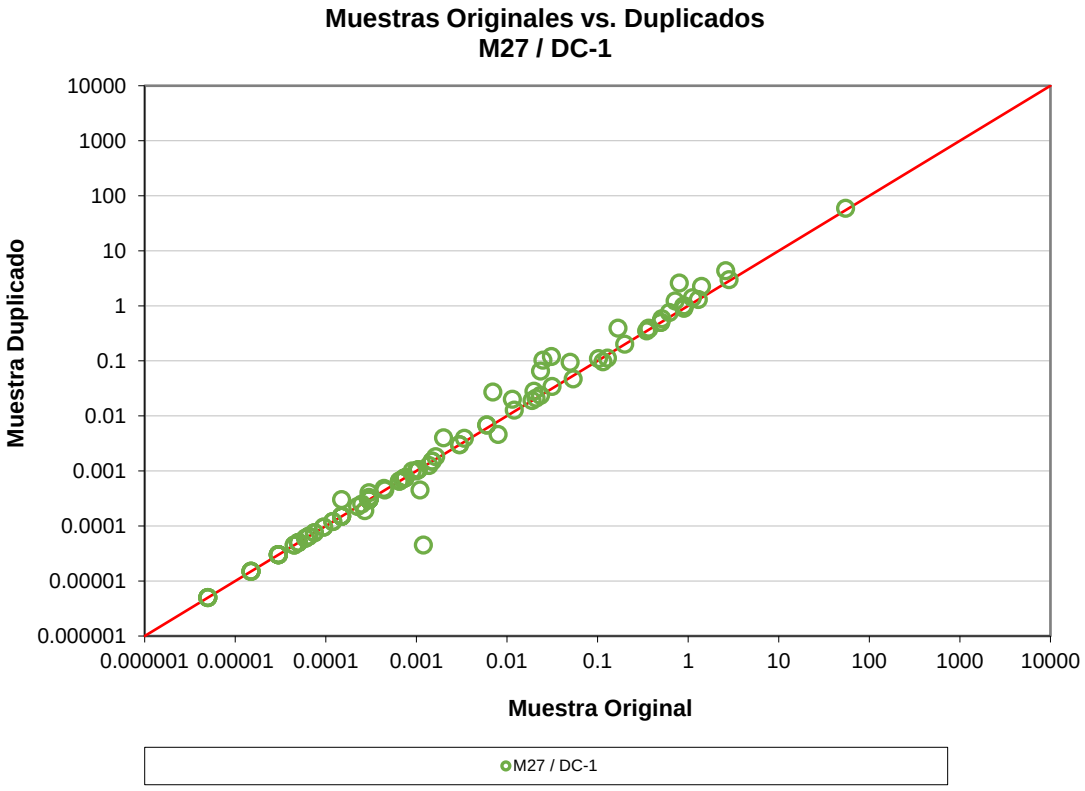


5.3 Análisis de duplicados

Durante el muestreo de la Zona III, se generó una muestra duplicada (DC-1) del punto M27, cuyos resultados son presentados en el Anexo A.

En la Figura 5-2, se muestra una gráfica que relaciona los resultados de las muestras analizadas M27 y DC-1. La gráfica evidencia que la mayoría de los puntos de intersección de las concentraciones de ambas muestras (original y duplicado), se encuentran cercanas a la recta de 45°, y, por lo tanto, cumplen con el criterio de control de calidad utilizado.

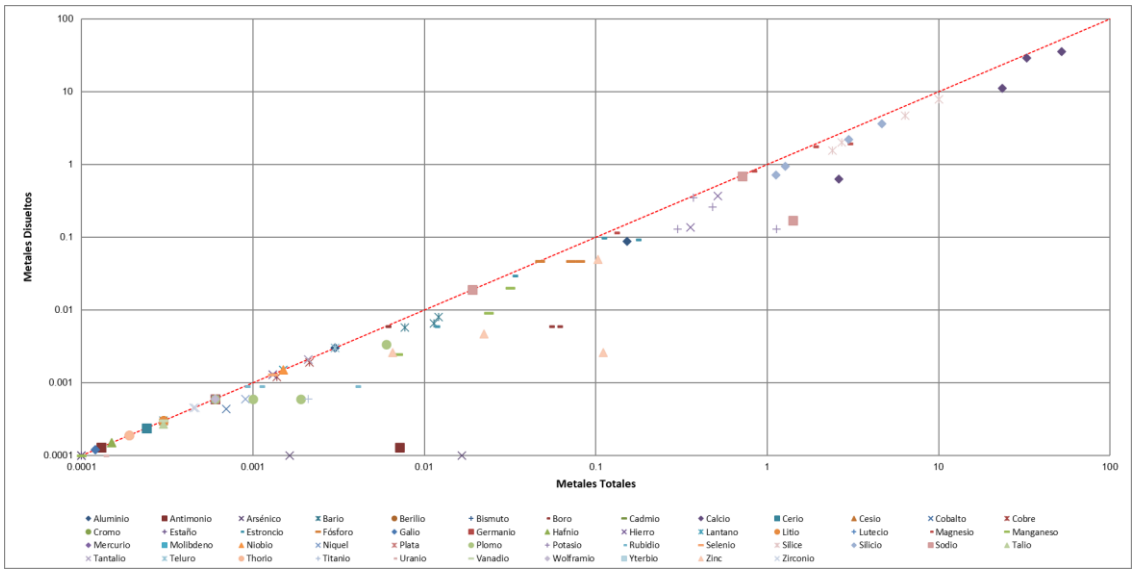
Figura 5-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados



5.4 Comparación entre metales totales y disueltos

La concentración de metales disueltos conforma una fracción del estado en el que se encuentran los metales en el agua, por lo tanto, la concentración de metales totales deberá ser siempre mayor a la concentración de metales disueltos, siendo así que la concentración de metales totales estará en función a la concentración de metales disueltos y la concentración de metales en suspensión. En la Figura 5-3, se puede verificar que las concentraciones de metales disueltos son menores a las concentraciones de sus pares de metales totales.

Figura 5-3 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos



6 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 el punto S27 (ACD en La Chorrera) fue neutro; el oxígeno disuelto tuvo una concentración aceptable por encima del mínimo indicado en los ECA, la conductividad eléctrica fue moderada y la turbidez mínima.

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

- *Aguas Categoría 3:*

El punto M28 fue comparado con la categoría 3 del ECA de agua; estas aguas presentaron valores de pH neutros, y valores de conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez adecuados, los cuales cumplen con los valores de referencia indicados en la norma.

En la estación M28 se reportó una excedencia respecto al ECA en fósforo total. Es preciso señalar que, en los cursos de agua, la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes procedentes de actividades de terceros, y en oportunidades a características propias del suelo.

Para todos los demás parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, metales y parámetros microbiológicos, ambas estaciones cumplieron los ECA para la categoría 3.

- *Aguas Categoría 4:*

El punto M27 ubicado en la Laguna Lipiac presentó un valor ácido de pH de 3.61, el cual se encuentra fuera del rango establecido en la categoría 4 del ECA. Asimismo, los ensayos de laboratorio reportaron una concentración de plomo total que excedería el nivel de referencia indicado en los ECA. Estas excedencias en pH y plomo estarían asociados a la geología de la zona, ya que la Laguna Lipiac se encuentra alrededor del área mineralizada con presencia de galena (sulfuro de plomo), lo cual explicaría la presencia de plomo en las aguas.

Laguna Alforjacocha (punto M29) presentó un pH neutro, el cual cumpliría los lineamientos indicados en la normativa. Asimismo, los parámetros de campo (oxígeno disuelto, conductividad, temperatura y turbidez) evaluados en esta estación, cumplieron los ECA.

El nitrógeno total excedió los ECA para la categoría 4-E1 en el punto M29. Esta ligera excedencia podría deberse a los restos de comida balanceada o excremento de los peces que la población local cría en la laguna o a procesos de eutrofización. De manera similar, el fósforo total excedería ligeramente el valor de referencia indicado en la categoría 4-E1 del ECA (0.035 mg/L).

Para todos los demás parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, metales y parámetros microbiológicos, en ambas estaciones se cumplieron los ECA para la categoría 4.

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 M28 y M29, las muestras presentaron en general una moderada concentración de STD (139 a 194 mg/L), una alcalinidad alta (140.6 a 123.5 mg CACO3/L) y un pH neutro (7.72 a 8.16). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Sulfatadas - Alumínicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27. El anión predominante es el sulfato, mientras que el catión predominante es el aluminio. Presenta un pH ácido (3.61), alcalinidad nula, baja concentración de STD (55 mg/L) y baja conductividad eléctrica (97.6 uS/cm).

- Agua Sulfatada – Cálcica. Este tipo de agua correspondería a la muestra S27. El anión predominante es el sulfato por encima del bicarbonato (65% versus 35% respectivamente). El catión predominante es marcadamente el calcio. Estas aguas presentan un pH neutro y una alcalinidad media (ambas características por la presencia de carbonatos), y una moderada concentración de STD (171 mg/L). En evaluaciones previas, estas aguas habían sido caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas, por lo que, para poder describir adecuadamente este tipo de agua, se recomienda considerar en otros estudios, periodos de análisis más prolongados.

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

.

7 Referencias

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

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

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

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

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

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

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