

PROYECTO EL GALENO

**MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA
TEMPORADA HÚMEDA 2021**

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, MARZO 2022

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 (<i>in-situ</i>)	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 (<i>in-situ</i>)	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 (<i>in-situ</i>)	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	Efluentes mineros, LMP en cualquier momento	28
4.5	Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona III	29
4.6	Evaluación Hidroquímica	29
5	RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD	33
5.1	Blanco viajero	33
5.2	Balance de cargas	33
5.3	Análisis de duplicados	34

5.4	Comparación entre metales totales y disueltos	35
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
7	REFERENCIAS	38

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 (<i>in-situ</i>) en aguas Categoría 1-A1	17
Tabla 4-2	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1	17
Tabla 4-3	Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1	18
Tabla 4-4	Resultados de parámetros medidos en campo (<i>in-situ</i>) en aguas Categoría 3 y 4	21
Tabla 4-5	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4	21
Tabla 4-6	Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4	22
Tabla 4-7	Resultados de parámetros medidos en campo (<i>in-situ</i>) en aguas Categoría 4-E1	24
Tabla 4-8	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4-E1	24
Tabla 4-9	Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 4-E1	26
Tabla 4-10	Resultados de parámetros medidos en campo (<i>in-situ</i>) en efluentes	28
Tabla 4-11	Resumen de resultados para parámetros de los LMP D.S. 010-2010-MINAM	28
Tabla 4-12	Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial	29
Tabla 4-13	Concentración de Iones Principales en la Zona III	29
Tabla 4-14	Resumen de Tipos de Agua en la Zona III del Proyecto	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 III	30
Figura 4-2	Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona III	30
Figura 4-3	Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona III	32
Figura 5-1	Error de Balance Iónico - Zona III	34
Figura 5-2	Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados	35
Figura 5-3	Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos	35

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 2021, y fueron desarrollados los días 27 de noviembre y 01 de diciembre del 2021.

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:

- Gilberto Zelada Arce, presidente de la JASS de La Chorrera participó en el monitoreo de agua el miércoles 01 de diciembre.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Nando Miranda Miranda – Caserío Punre, quien participó en el monitoreo de agua el día 27 de noviembre.
- Manuel Salazar Llanos - Caserío Sogorón Alto, quien participó en el monitoreo de agua el 27 de noviembre.
- Olger Tacilla Alvarado- Caserío El Porvenir, quien participó en el monitoreo de agua el día 01 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 2021); 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 2021).

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 muestran 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	Si
M27	9 229 745	795 918	3 779	Laguna Lipiac	4-E1	Si
M29	9 231 666	794 866	3 778	Laguna Alforjacochoa	4-E1	Si
PA-01**	9 229 936	798 100	3 787	Pasivo ambiental en Los Sartenes	-	Si

Notas:

ACD = agua para consumo doméstico

* Nueva estación de monitoreo. Adicionado en campo, ubicado aguas abajo del pasivo ambiental. Socavón #2 en Los Sartenes

** Pasivo ambiental es comparado con LMP de efluentes mineros - D.S. N° 010-2010-MINAM

⁽¹⁾ Solo se efectuó el muestreo de calidad aguas, no se pudo realizar la medición de caudales porque el reservorio se encontraba cerrado.

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	
<i>In-situ</i>							
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	°C	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	-	-	-	-	-
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/ Litro	-	-	-	-	-	-
<i>Vibrio Cholerae</i>	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	-	-	-

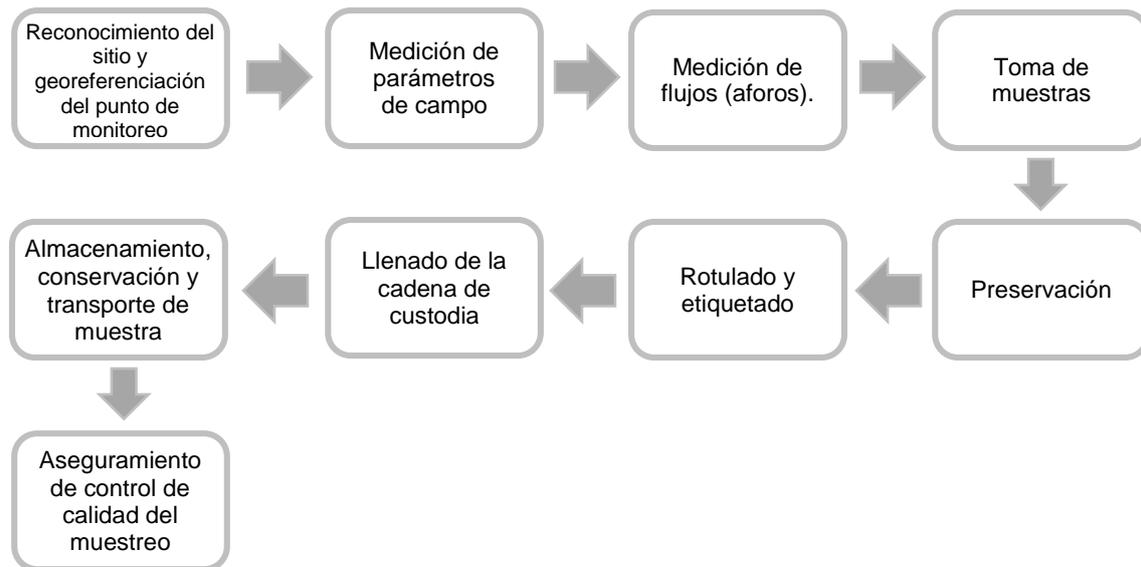
Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)					LMP Efluente Minero (b)
		Cat. 1-A1	Cat. 3		Cat. 4		
		Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección	D1: Riego Vegetales	D2: Bebida de Animales	E1: Lagos y Lagunas	E2: Ríos	
Manganeso	mg/L	0.4	0.2	0.2	-	-	-
Mercurio	mg/L	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. N° 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 físicoquímicos *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 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			
S27	ACD en La Chorrera	-	Reservorio cerrado
M28	Quebrada La Chorrera	386.77	
SAR-01	Quebrada Sartenes	32.00	
M27	Laguna Lipiac	-	Laguna
M29	Laguna Alforjacochoa	-	Laguna
PA-01	Pasivo ambiental en Los Sartenes	0.14	
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
M15	Manantial en La Chorrera	-	Sin acceso
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	6.30	244.0	7.04	10.5	0.29

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 de 6.30 el cual se encontraría ligeramente por debajo del nivel inferior de referencia indicado en los ECA. Por otro lado, el oxígeno disuelto presentó una óptima concentración de 7.04 mg/L; se registró una baja conductividad eléctrica (255 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	0.3	-
Alcalinidad Total	mgCaCO3/L	111.9	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	113.3	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	252.9	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	150	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	6.73	-

Parámetro	Unidad	Punto S27	Excede al ECA
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₃ -N/L	<LD	-
Fósforo Total	mg P/L	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	-
Cianuro total	mg/L	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	-
Turbidez (campo)	NTU	0.29	-
Conductividad (campo)	uS/cm	244.00	-
Temperatura	°C	10.50	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	6.30	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.04	-

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 nitrógeno amoniacal, 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, estos se encuentran en bajas concentraciones y por debajo de los ECA.

Existe buena concordancia entre el valor de conductividad eléctrica registrado en campo (244 µS/cm) y el correspondiente resultado de laboratorio (252.9 µS/cm). El pH mostró concordancia entre el valor medido en campo (6.30) y laboratorio (6.73). 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 113.3 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	0.0032	-
*Berilio Total	<LD	-
Bismuto Total	<LD	-
*Boro Total	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto S27	Excede al ECA
*Cadmio Total	<LD	-
Calcio Total	41.326	-
Cerio Total	<LD	-
Cesio Total	<LD	-
Cobalto Total	<LD	-
*Cobre Total	<LD	-
*Cromo Total	<LD	-
Estaño Total	<LD	-
Estroncio Total	0.0805	-
Fósforo Total	<LD	-
Galio Total	<LD	-
Germanio Total	<LD	-
Hafnio Total	<LD	-
*Hierro Total	0.0020	-
Lantano Total	<LD	-
Litio Total	<LD	-
Lutecio Total	<LD	-
Magnesio Total	0.978	-
*Manganeso Total	0.00230	-
*Mercurio Total	<LD	-
*Molibdeno Total	<LD	-
Niobio Total	<LD	-
*Niquel Total	<LD	-
Plata Total	<LD	-
*Plomo Total	<LD	-
Potasio Total	0.97	-
Rubidio Total	0.0029	-
*Selenio Total	<LD	-
Silice Total	7.34	-
Silicio Total	3.43	-
Sodio Total	0.769	-
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	0.0198	-

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 bario, hierro, manganeso y zinc. Los metales tales como aluminio, antimonio, arsénico, berilio, boro, cadmio, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, 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 41.326 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 de coliformes totales en el punto S27 fue de 11 NMP/100 mL, la cual cumple con el estándar de referencia de 50 NMP/100 mL indicado en el ECA de agua.

La concentración de coliformes fecales analizada, reportó un valor de 2 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 oquistes 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.

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	8.01	286.0	6.82	11.7	4.43
SAR-01	Quebrada Sartenes	7.56	841.00	6.12	12.50	1.27

Los parámetros de campo evaluados presentaron valores neutros a ligeramente alcalinos 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	Punto SAR-01	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	9.5	12.4	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	4.2	0.9	-
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	153.9	239.8	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	294.6	503.0	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	176	292	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	5	<3	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<0.003	<0.003	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	7.31	7.37	-
Amoníaco	mg NH ₃ /L	<0.012	<0.012	-
Fósforo Total	mg P/L	0.02	0.03	-
Sulfuro	mg/L	<0.002	<0.002	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<2.6	<2.6	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	<4.5	10.5	-
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	<0.061	<0.061	-
Aceites y Grasas	mg/L	<0.4	<0.4	-
Cianuro total	mg/L	<0.0008	<0.0008	-
Fenoles	mg/L	<0.0005	<0.0005	-
Cianuro WAD	mg/L	<0.0008	<0.0008	-
Turbidez	NTU	4.43	1.27	-
Conductividad (campo)	uS/cm	286.00	481.00	-
Temperatura	°C	11.70	12.50	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	8.01	7.56	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.82	6.12	-

Parámetro	Unidad	Punto M28	Punto SAR-01	Excede al ECA
-----------	--------	-----------	--------------	---------------

Notas:

<LD: Menor al Límite de Detección

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 cromo hexavalente, amoníaco, fósforo total, sulfuro, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, detergentes, aceites y grasas, cianuro tota, fenoles y cianuro WAD. Asimismo, 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 cumplen con los ECA.

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

4.2.3 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	Punto SAR-01	Excedencia al ECA
*Aluminio Total	0.091	0.037	-
*Antimonio Total	<LD	<LD	-
*Arsénico Total	<LD	<LD	-
*Bario Total	0.0121	0.0058	-
*Berilio Total	<LD	<LD	-
Bismuto Total	<LD	<LD	-
*Boro Total	<LD	<LD	-
*Cadmio Total	<LD	<LD	-
*Cadmio Disuelto	<LD	<LD	-
Calcio Total	48.514	93.562	-
Cerio Total	<LD	<LD	-
Cesio Total	<LD	<LD	-
*Cobalto Total	<LD	<LD	-
*Cobre Total	<LD	0.00206	-
*Cromo Total	<LD	<LD	-
Estaño Total	<LD	<LD	-
Estroncio Total	0.2196	0.1015	-
Fósforo Total	<LD	<LD	-
Galio Total	0.00014	<LD	-
Germanio Total	<LD	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M28	Punto SAR-01	Excedencia al ECA
Hafnio Total	<LD	<LD	-
*Hierro Total	0.2997	0.1350	-
Lantano Total	<LD	<LD	-
*Litio Total	<LD	<LD	-
Lutecio Total	<LD	<LD	-
*Magnesio Total	3.282	2.513	-
*Manganeso Total	0.01954	0.10436	-
*Mercurio Total	<LD	<LD	-
Molibdeno Total	<LD	<LD	-
Niobio Total	<LD	<LD	-
*Níquel Total	<LD	<LD	-
Plata Total	<LD	<LD	-
*Plomo Total	<LD	0.0044	1
Potasio Total	0.36	0.84	-
Rubidio Total	<LD	0.0014	-
*Selenio Total	<LD	<LD	-
Silice Total	3.37	3.48	-
Silicio Total	1.58	1.63	-
Sodio Total	1.640	0.606	-
*Talio Total	<LD	<LD	-
Tantalio Total	<LD	<LD	-
Teluro Total	<LD	<LD	-
Thorio Total	<LD	<LD	-
Titanio Total	<LD	<LD	-
Uranio Total	0.000085	0.000497	-
Vanadio Total	<LD	<LD	-
Wolframio Total	<LD	<LD	-
Yterbio Total	<LD	<LD	-
*Zinc Total	0.0187	0.1245	1
Zirconio Total	<LD	<LD	-

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, bario, cobre, hierro, magnesio, manganeso, plomo y zinc. Los metales tales como antimonio, arsénico, berilio, boro, cadmio total y disuelto, cobalto, cromo, litio, mercurio, níquel, selenio y talio, 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. En cambio, en el punto SAR-01 se presentan dos excedencias puntuales para plomo total y zinc total, con concentraciones de 0.0044 mg/L y 0.1245 mg/L respectivamente; las cuales estarían asociadas a la propia 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 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	4.06	47	5.37	11.9	1.69
M29	Laguna Alforjacochoa	8.13	280	6.73	13.6	0.61

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 4.06 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 encuentra alrededor del área mineralizada. Por el contrario, la Laguna Alforjacochoa presentó un pH neutro, el cual cumpliría los lineamientos indicados en la normativa.

En la Laguna Lipiac la conductividad eléctrica fue baja (47 µS/cm) y en la Laguna Alforjacochoa se obtuvo un valor medio (280 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	<0.003	<0.003	-
Color Verdadero	UC	6.5	7.3	-

Parámetro	Unidad	Punto M27	Punto M29	Excedencias al ECA
Turbidez (laboratorio)	NTU	2.8	0.7	-
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	<LD	140.6	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	37.1	288.0	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	26	171	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	<LD	<LD	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<LD	<LD	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	4.11	7.40	1*
Amoníaco	mg NH ₃ /L	<LD	<LD	-
Nitrógeno Total	mg N/L	0.47	0.37	2
Fósforo Total	mg P/L	0.05	0.06	2
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	1.69	0.61	-
Conductividad (campo)	uS/cm	47.00	280.00	-
Temperatura	°C	11.90	13.60	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	4.06	8.13	1
Oxígeno disuelto	mg/L	5.37	6.73	-

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, aceites y grasas, cianuro total 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.

Se detectaron concentraciones de fósforo total las cuales excedería ligeramente el valor de referencia indicado en la categoría 4-E1 del ECA (0.035 mg/L). De manera similar, concentraciones de nitrógeno total estuvieron presentes en las muestras M27 y M29, con valores de 0.77 mg N/L y 0.35 mg N/L respectivamente. Estos valores excederían el valor de referencia (0.315 mg N/L) indicados en la categoría 4-E1 del ECA de agua. Esta ligera excedencia podría 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 amoníaco 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 47 µS/cm y 280 µS/cm (M27 y M29 respectivamente), mientras que los resultados de laboratorio fueron 37.1 µS/cm y 288 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	0.321	0.042	-
*Antimonio Total	<0.00013	<0.00013	-
*Arsénico Total	0.00261	<0.00010	-
*Bario Total	0.0051	0.0088	-
Berilio Total	<0.00006	<0.00006	-
Bismuto Total	<0.00003	<0.00003	-
Boro Total	<0.006	<0.006	-
Cadmio Total	<0.00003	<0.00003	-
Cadmio Disuelto	<0.00003	<0.00003	-
Calcio Total	0.837	49.184	-
Cerio Total	<0.00024	<0.00024	-
Cesio Total	<0.0003	<0.0003	-
Cobalto Total	0.00032	<0.00003	-
*Cobre Total	<0.00009	<0.00009	-
Cromo Total	<0.0003	<0.0003	-
Estaño Total	<0.00010	<0.00010	-
Estroncio Total	0.0037	0.2105	-
Fósforo Total	<0.047	<0.047	-
Galio Total	0.00038	0.00018	-
Germanio Total	<0.0006	<0.0006	-
Hafnio Total	<0.00015	<0.00015	-
Hierro Total	0.7107	0.0250	-
Lantano Total	<0.0015	<0.0015	-
Litio Total	<0.0003	<0.0003	-
Lutecio Total	<0.00006	<0.00006	-
Magnesio Total	0.098	2.716	-
Manganeso Total	0.01566	0.00214	-
*Mercurio Total	<0.00009	<0.00009	-
Molibdeno Total	<0.00006	<0.00006	-
Niobio Total	<0.0015	<0.0015	-
*Niquel Total	<0.0006	<0.0006	-
Plata Total	<0.000010	<0.000010	-

Metales (mg/L)	Punto M27	Punto M29	Excedencias al ECA
*Plomo Total	0.0033	<0.0006	1
Potasio Total	0.44	0.31	-
Rubidio Total	<0.0009	<0.0009	-
*Selenio Total	<0.0013	<0.0013	-
Silice Total	1.45	5.82	-
Silicio Total	0.68	2.72	-
Sodio Total	0.314	0.678	-
*Talio Total	<0.00006	<0.00006	-
Tantalio Total	<0.0021	<0.0021	-
Teluro Total	<0.003	<0.003	-
Thorio Total	<0.00019	<0.00019	-
Titanio Total	0.0048	<0.0006	-
Uranio Total	<0.000010	0.000057	-
Vanadio Total	<0.0003	<0.0003	-
Wolframio Total	<0.0006	<0.0006	-
Yterbio Total	<0.00006	<0.00006	-
*Zinc Total	0.0403	0.0554	-
Zirconio Total	<0.00045	<0.00045	-

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 0.0033 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 se evidencian concentraciones menores a 18 NMP/100 mL, las cuales para todos los casos cumplirían los ECA.

4.4 Efluentes mineros, LMP en cualquier momento

Tal como se mencionó previamente en la Tabla 2-1, el programa de monitoreo incluye la toma de muestra en un punto asociado a un pasivo ambiental, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros medidos en campo y su comparación con los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

Tabla 4-10 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en efluentes

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
LMP en cualquier momento		6 – 9	-	-	-	-
PA-01	Pasivo ambiental - Socavón #2 en Los Sartenes	7.10	630	5.64	11.5	14.90

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 4-10, el efluente analizado posee un pH neutro (7.10), una alta conductividad eléctrica, adecuado valor de oxígeno y un elevado valor de turbidez. Al comparar los resultados obtenidos con el D.S. N° 010-2010-MINAM que indica los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, se cumpliría el valor de pH que se indica en la norma (6.0 – 9.0).

En la Tabla 4-11, se presenta el resumen de resultados para los parámetros normados en el D.S. N° 010-2010-MINAM.

Tabla 4-11 Resumen de resultados para parámetros de los LMP D.S. 010-2010-MINAM

Parámetro (mg/L)	LMP en cualquier momento	PA-01
Sólidos Totales en Suspensión	50	17
Aceites y Grasas	20	<LD
Cianuro Total	1	<LD
Arsénico Total	0.1	0.00791
Cadmio Total	0.05	0.02703
Cromo Hexavalente	0.1	<LD
Cobre Total	0.5	0.00808
Hierro Disuelto	2	0.0030
Plomo Total	0.2	0.1769
Mercurio Total	0.002	<LD
Zinc Total	1.5	4.1247

Notas:

<LD: Menor al Límite de Detección

Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el LMP de referencia (D.S. N° 010-2010-MINAM)

De acuerdo a lo indicado anteriormente, todos los resultados obtenidos en la muestra de agua del punto PA-01 cumplirían con los valores indicados en los LMP, a excepción de una concentración de zinc (4.1247 mg/L), que excedería el valor de la norma. Esta excedencia estaría relacionada a las propias características geoquímicas del pasivo ambiental.

En el Anexo A se presenta el detalle de todos los resultados de los parámetros evaluados en los análisis de laboratorio.

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

En la Tabla 4-12, se presenta el resumen de excedencias de las 4 muestras enviadas al laboratorio, procedentes de la Zona III.

Tabla 4-12 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	X				
M28	3 y 4					
SAR-01	3 y 4					Pb, Zn
M27	4-E1	X		Fósforo Total, Nitrógeno Total		Pb
M29	4-E1			Fósforo Total, Nitrógeno Total		
PA-01	LMP***					Zn

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)

4.6 Evaluación Hidroquímica

Respecto a la química de los iones principales, en la Tabla 4-13 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 4-13 Concentración de Iones Principales en la Zona III

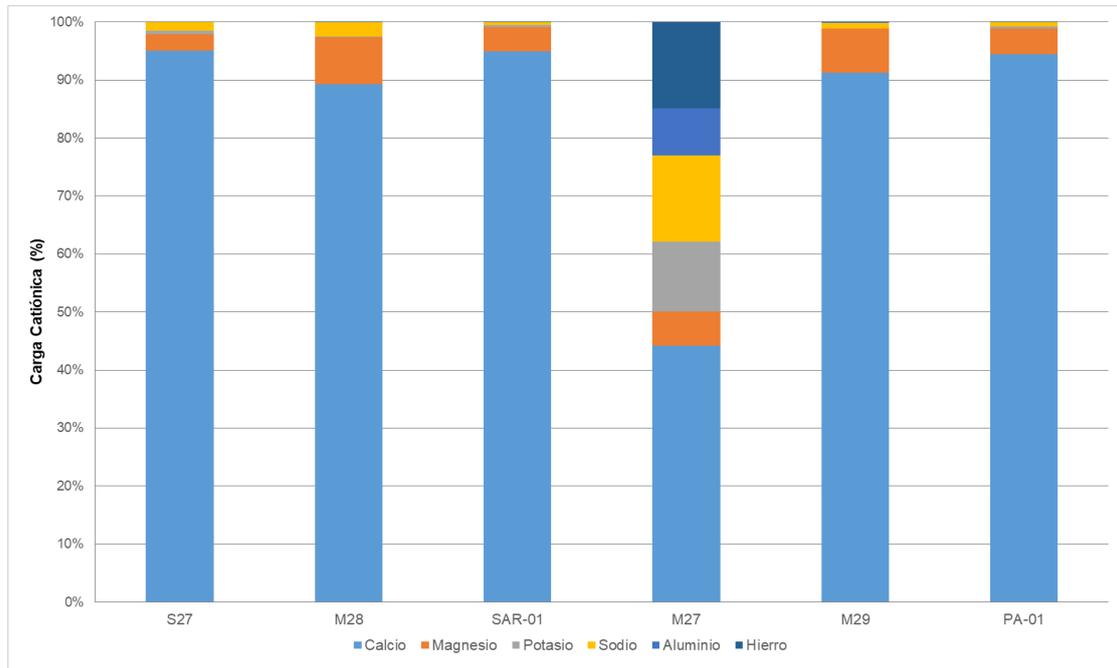
Punto	Cationes (meq/L)						Aniones (meq/L)					
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	Fe ⁺³	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ⁻²	N-NO ₃ ⁻
S27	2.004	0.059	0.015	0.031	0.000	0.000	1.865	0.000	0.006	0.000	0.120	0.040
M28	2.408	0.216	0.005	0.065	0.000	0.002	2.544	0.042	0.048	0.000	0.096	0.011
SAR-01	4.617	0.201	0.020	0.025	0.000	0.000	3.985	0.022	0.037	0.003	0.923	0.019
M27	0.040	0.005	0.011	0.013	0.007	0.013	0.000	0.000	0.005	0.001	0.122	0.033
M29	2.428	0.203	0.000	0.026	0.004	0.001	2.318	0.050	0.068	0.000	0.247	0.013

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.

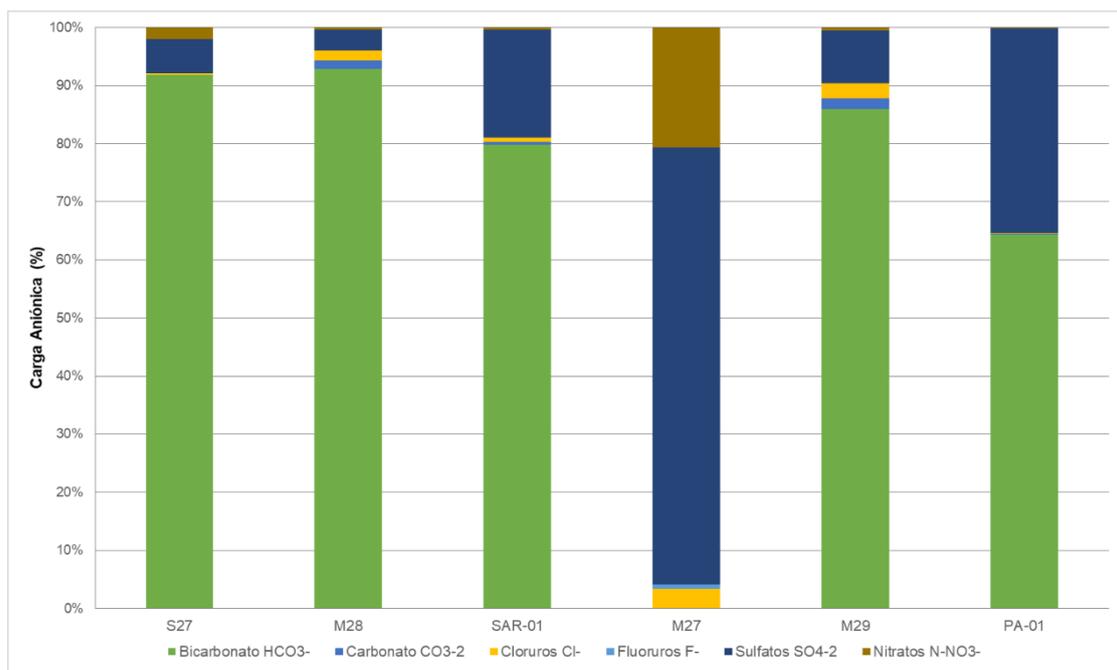
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-1, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona III corresponde al Calcio, primando en todos los puntos evaluados, variando desde el 44% hasta el 95% de la carga catiónica total (CCT).

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 cinco (5) puntos de muestreo, con una carga aniónica total que varía entre 64% y 93%. De manera contraria, en la estación restante, el sulfato es el ion que prevalece sobre los demás, con una carga aniónica total de 75%.

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 4-14.

Tabla 4-14 Resumen de Tipos de Agua en la Zona III del Proyecto

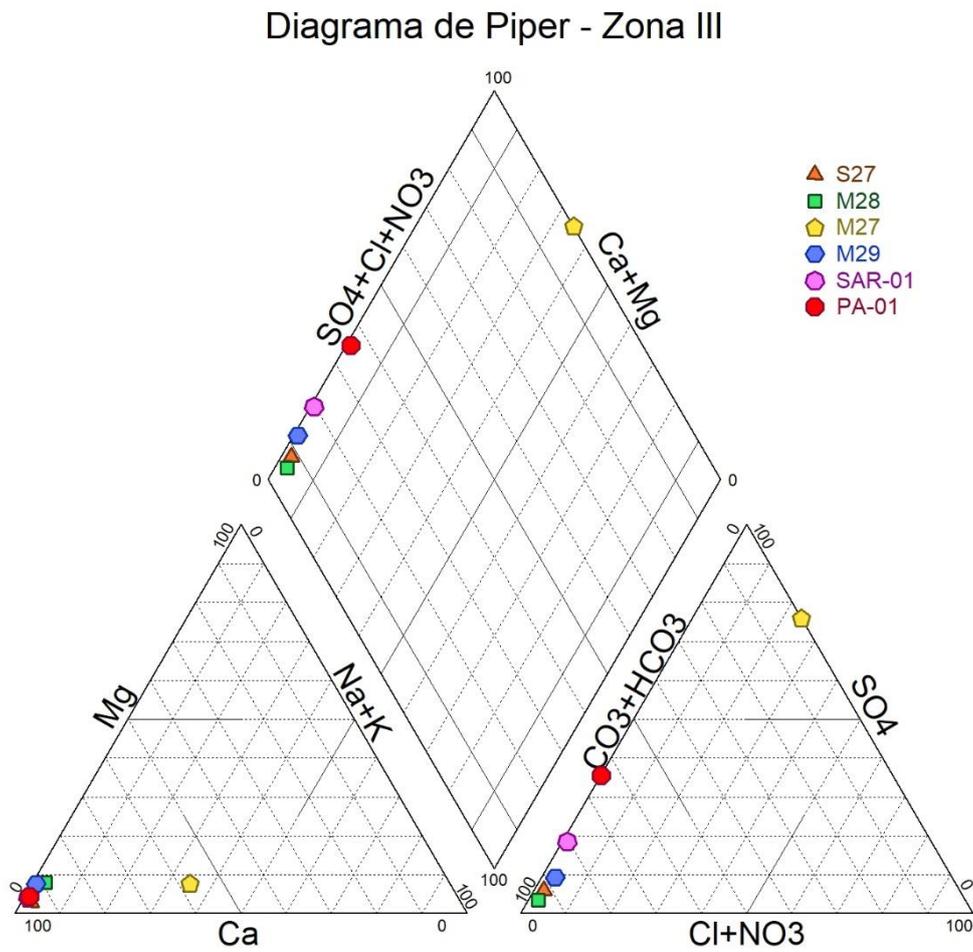
Estación	Catión predominante	Anión predominante	Tipo de Agua	Denominación
S27	Ca	HCO ₃	Ca- HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
M28	Ca	HCO ₃	Ca- HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
SAR-01	Ca	HCO ₃	Ca- HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
M27	Ca – Na – Fe	SO ₄	Ca-Na-Fe-SO ₄	Sulfatada Mixta
M29	Ca	HCO ₃	Ca- HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
PA-01	Ca	HCO ₃	Ca- HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 4-14, 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 S27, M28, SAR-01, M29 y PA-01, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (150 a 388 mg/L), una alcalinidad alta (111.9 a 247.3 mg CaCO₃/L) y un pH neutro (6.3 a 8.13). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.
- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27. 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 hierro. Presenta un pH ácido (4.06), alcalinidad nula, baja concentración de STD (26 mg/L) y baja conductividad eléctrica (47 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 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), todos los parámetros se reportaron como menores al límite de detección (<LD), a excepción de una pequeña traza de magnesio total (0.004 mg/L), cuyo valor es muy cercano al límite de cuantificación del método (0.003 mg/L), 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.

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 (%);

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

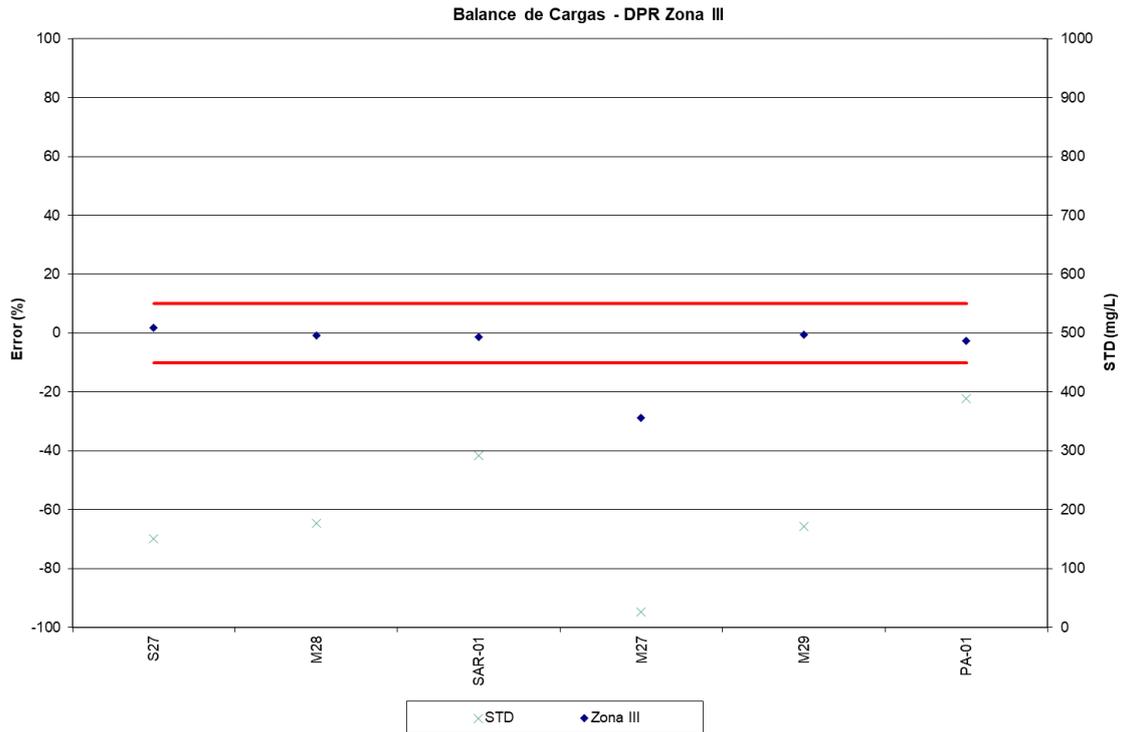
$\sum m_a$: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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

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

En la Figura 5-1, se presenta de manera gráfica el error de balance iónico obtenido para cada punto de muestreo de la Zona III. Se observa que para la totalidad de los casos el porcentaje de error varía en rango aceptable de $\pm 10\%$, a excepción del punto de muestreo M27, cuyo valor se alejaría del rango aceptable; sin embargo, esto se debería a la baja concentración de STD en la muestra (26 mg/L) lo que genera una menor precisión en los analitos evaluados de esta muestra.

Figura 5-1 Error de Balance Iónico - Zona III

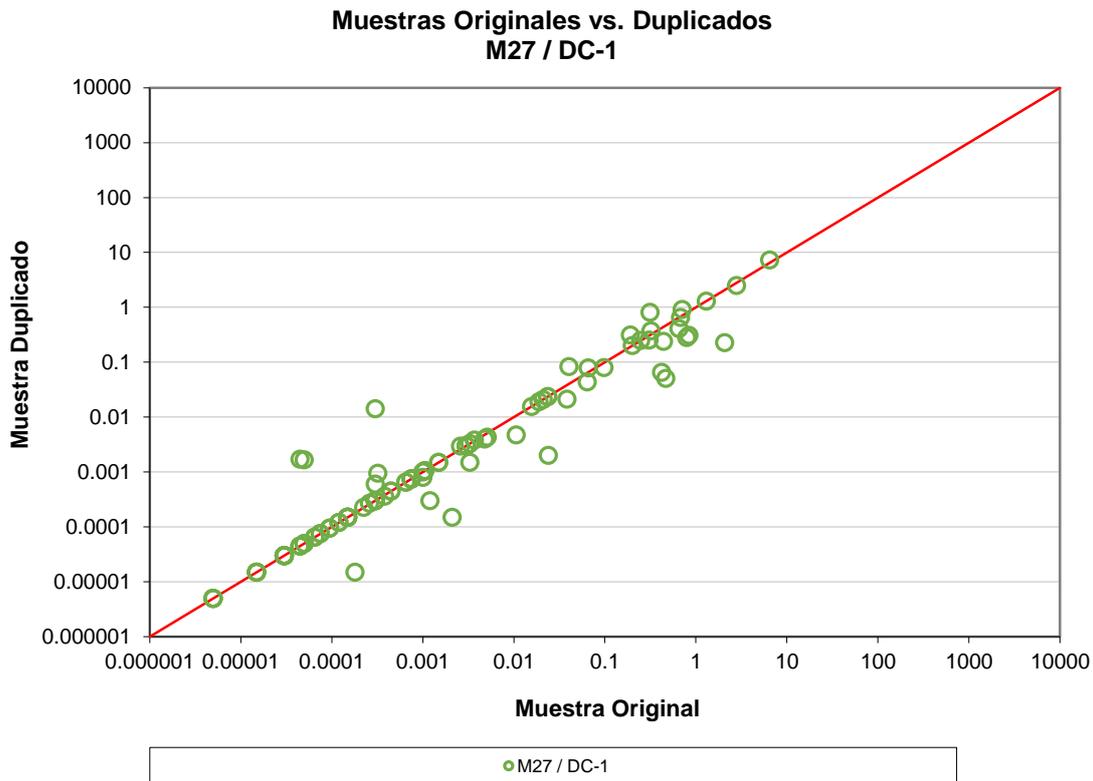


5.3 Análisis de duplicados

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.

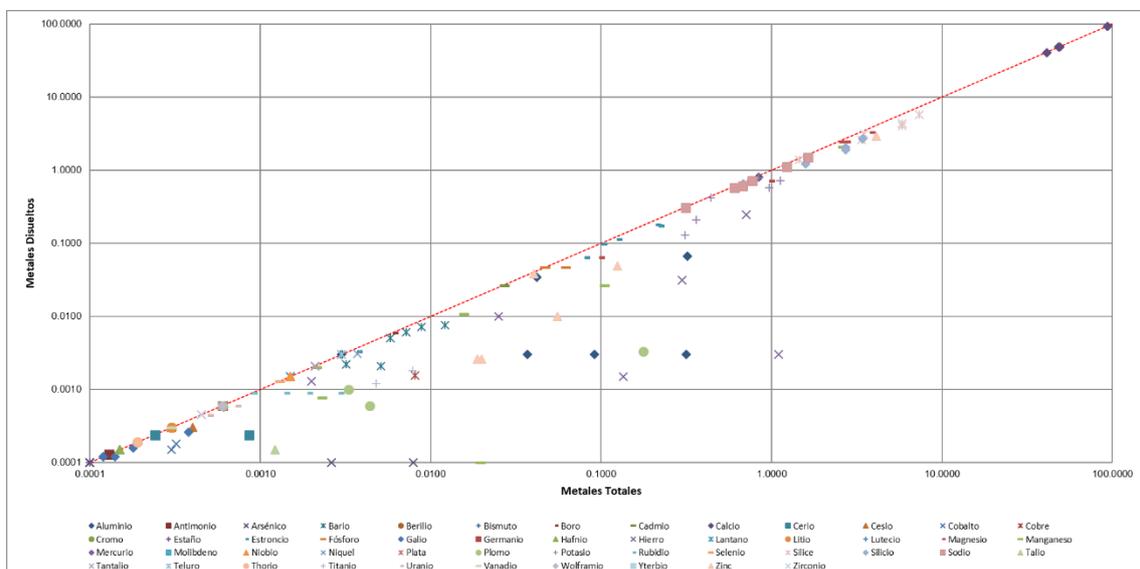
Figura 5-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados



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) se encontró ligeramente por debajo del valor indicado en los ECA. El oxígeno disuelto tuvo una concentración aceptable por encima del mínimo indicado en la norma, la conductividad eléctrica fue moderada y la turbidez mínima. Esta variación de pH estaría relacionada a las propias características de la zona, ya que según la data histórica de esta ubicación este valor se encuentra dentro del rango normal.

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:

Como parte del esfuerzo de monitoreo de la temporada húmeda 2021, se adicionó para esta campaña el punto SAR-01, ubicado aguas abajo del Pasivo ambiental Socavón #2 en Los Sartenes.

Los puntos M28 y SAR-01, comparados con la categoría 3 del ECA de agua, presentaron valores de pH entre neutros a ligeramente alcalinos, los cuales cumplen con los valores de referencia indicados en los ECA.

Se reportaron concentraciones de plomo total y zinc total (0.0044 mg/L y 0.1245 mg/L respectivamente) en el punto SAR-01, los cuales excederían los valores de referencia indicados en los ECA. Estas excedencias estarían relacionadas a las características de la zona; sin embargo, se requiere una mayor temporalidad de datos en este punto para determinar si pudiese estar recibiendo alguna influencia en zinc, del pasivo ambiental Socavón #2.

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 4.06, 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 Alforjacochoa (punto M29) presentó un pH neutro, el cual cumpliría los lineamientos indicados en la normativa.

El nitrógeno total excedió los ECA para la categoría 4-E1 en ambos puntos de monitoreo. 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, en ambos puntos, 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.

- Efluente minero:

Los resultados de laboratorio obtenidos de la muestra del efluente del pasivo ambiental Socavón #2 fueron comparados con los LMP del D.S. 010-2010-MINAM, donde todos los resultados obtenidos en la muestra de agua del punto PA-01 cumplirían con los valores indicados en la norma, a excepción de una concentración de zinc total (4.1247 mg/L), que excedería el valor estipulado. Esta excedencia en zinc estaría relacionada a las propias características geoquímicas del pasivo ambiental.

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 - Cálcidas. Este tipo de agua se presentó en los puntos de muestreo S27, M28, SAR-01, M29 y PA-01, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (150 a 388 mg/L), una alcalinidad alta (111.9 a 247.3 mg CaCO₃/L) y un pH neutro (6.3 a 8.13). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.
- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27. 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 hierro. Presenta un pH ácido (4.06), alcalinidad nula, baja concentración de STD (26 mg/L) y baja conductividad eléctrica (47 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; sin embargo, si bien los resultados pueden considerarse representativos, debe prestarse mayor atención en el aseguramiento de la calidad al momento del transporte y almacenaje de las muestras, de tal manera que se evite la presencia de trazas químicas en las muestras de blanco y la posible contaminación de las muestras recogidas.

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.

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.