PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA SECA 2020

INFORME ZONA III

Revisión C

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. CECILIA PECHE BECERRA

CIP139912
Lima - Perú

LIMA, NOVIEMBRE 2020

CONTENIDO

1	**INTRODUCCIÓN**	**4**
1.1	Introducción	4
1.2	Participación de la población local	4
2	**UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO**	**5**
2.1	Puntos de monitoreo con toma de muestra	5
2.2	Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo	5
3	**MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN-SITU Y AFOROS**	**6**
3.1	Muestreo para el análisis de laboratorio	6
3.2	Control de calidad	8
3.3	Estándares y guías aplicadas	9
3.4	Laboratorio de análisis	9
4	**RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA**	**10**
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	10
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	10
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	11
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	12
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	13
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	13
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	14
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	15
4.3	Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4	15
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos	16
4.3.2	Inorgánicos (Metales)	17
4.3.3	Microbiológicos y parasitológicos	19
4.4	Pasivos ambientales	19
4.5	Evaluación Hidroquímica	19
5	**CONTROL DE CALIDAD**	**22**
5.1	Duplicado de muestra	22
5.2	Blancos	23
5.2.1	Blanco de campo	23
5.2.2	Blanco viajero	23
5.3	Control de calidad de los resultados de laboratorio	23
5.3.1	Balance iónico	23

5.3.2 Revisión cruzada de parámetros 24

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 25

7 REFERENCIAS 27

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua 5
Tabla 2.2 Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo 5
Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo 6
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo 6
Tabla 3.3 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría 7
Tabla 3.4 Listado de muestras de control de calidad 8
Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio 9
Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 10
Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1 (S27) 11
Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1 12
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 13
Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en M28 14
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 15
Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4 16
Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4 18
Tabla 4.9 Parámetros de campo registrados en PA-01 19
Tabla 4.10 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 19
Tabla 4.11 Iones principales y tipos de agua 20
Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico 24
Tabla 6.2 Balance iónico 24

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo 6
Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4 17
Figura 4.2 Metales que exceden los ECA para la Categoría 4 17
Figura 4.3 Clasificación hidroquímica 20
Figura 4.4 Diagrama Piper 21
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado 22

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 monitoreo4733Reunideologia l
Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo
Anexo E Fichas de información de campo
Anexo F Registros de aforo
Anexo G Informes de ensayo de laboratorio

1 Introducción

1.1 Introducción

El proyecto El Galeno, está ubicado en el noreste del Perú, en el límite de los distritos de La Encañada y Sorochuco, pertenecientes a las provincias de Cajamarca y Celendín respectivamente, en el departamento de Cajamarca. El Mapa 1.1 muestra la ubicación del proyecto, así como la red hidrográfica de la zona de estudio.

El presente informe muestra los resultados de la ronda de monitoreo semestral de calidad de aguas correspondiente a la temporada seca 2020. El área de trabajo corresponde a la quebrada Chirimayo Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo A, mientras que el Anexo B presenta la memoria fotográfica.

El monitoreo ha sido efectuado por SGS del Perú S.A. siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016), aprobado mediante Resolución Jefatural N°010-2016-ANA. En aquellos puntos que por su naturaleza no han sido clasificados como agua superficial, se ha mantenido el uso de este protocolo a fin de mantener uniformidad en la ronda de monitoreo.

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

1.2 Participación de la población local

Como parte de las acciones de participación ciudadana implementadas por LC, los monitoreos de calidad de agua cuentan con la presencia de monitores ambientales de las diferentes comunidades involucradas en el área de estudio. En el Anexo C se presentan las actas de participación debidamente firmadas. En esta oportunidad asistieron los siguientes monitores ambientales:

- Sr. Jaime Llanos Salazar.
- Sr. Edwin Chávez Juárez.

Participaron los siguientes pobladores y/o autoridades locales:

- 29 de julio de 2020. Sr. Jesús Quiliche Alaya, Presidente de las Rondas Campesinas del caserío Sartenes y Sr. Gilberto Alvarado Llaxa, Teniente Gobernador de del caserío Sartenes.
- 04 de agosto de 2020, Sr. Gilberto Zelada Arce, Presidente de la JASS de La Chorrera.

2 Ubicación de puntos de monitoreo

2.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

La Tabla 2.1 muestra el listado de puntos de monitoreo en los cuales se efectuó toma de muestras para el análisis de laboratorio, así como registro de parámetros de campo.

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
Zona III						
S27	796610	9229793	3853	ACD en La Chorrera	1-A1	Si
M28	796555	9230843	3714	Qda. La Chorrera	3	Si
M27	795918	9229745	3779	Laguna Lipiac	4-E1	Si
M29	794788	9231687	3778	Laguna Alforjacocha	4-E1	Si
PA01	798100	9229936	3797	Pasivo ambiental en Los Sartenes	-	Sin flujo

Nota: ACD = agua para consumo doméstico; A. Sub. = Agua subterránea; YB = Yerba Buena. M38: punto agregado en campo.

No fue posible obtener una muestra del Punto PA-01 pues solo presentó un empozamiento menor del cual no fue posible obtener una muestra. Se registraron parámetros de campo.

2.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

La Tabla 2.2 muestran el listado de puntos de monitoreo en los que se efectuó el registro de solo parámetros de campo.

Tabla 2.2 Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
Zona I						
M15	796644	9229713	3751	Manantial en La Chorrera	3	Sin acceso

Nota: ACD = agua para consumo doméstico; A. Sub. = Agua subterránea; EM: Efluente minero; YB = Yerba Buena

No se tuvo acceso al punto M15

3 Medición de parámetros in-situ y aforos

Las mediciones de campo son una evaluación rápida in situ de la calidad de agua que pueden detectar cambios en las propiedades químicas debido a la volatilización, ventilación u otras condiciones variantes entre el campo y el laboratorio, y son un mecanismo de aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio. En la Tabla 3.1 se presentan los parámetros de campo registrados.

Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
M29	8.19	256.0	7.79	15.2	1.46
S27	7.10	141.0	6.44	12.8	0.12
M28	7.92	277.0	8.20	13.0	2.57
M27	3.67	108.8	6.47	16.4	0.32

La medición de caudales fue efectuada mediante el 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. Los valores de cada medición fueron anotados en los correspondientes formatos de campo para su posterior cálculo. La Tabla 3.2 presenta los resultados de los aforos realizados.

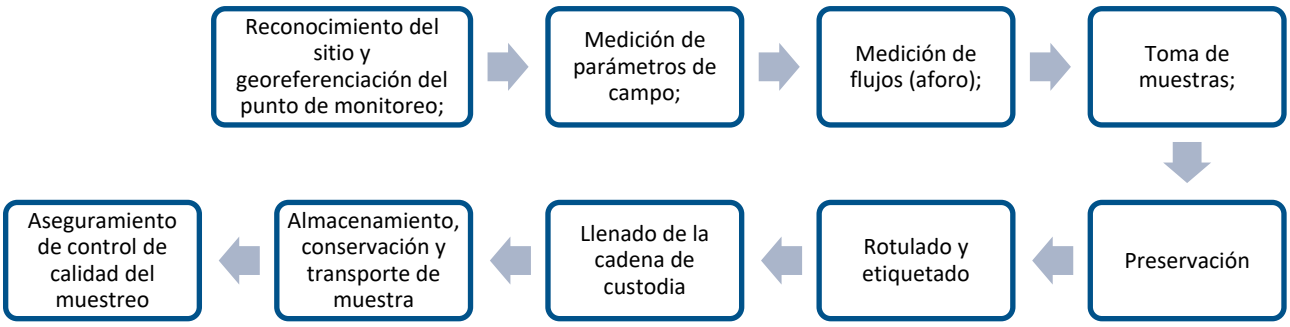
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Comentario
M28	20.88	--

3.1 Muestreo para el análisis de laboratorio

El procedimiento de muestreo seguido durante el presente monitoreo ha sido acorde a lo indicado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. Nº 010-2016-ANA), el mismo que se resume a continuación:

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo



Además de los parámetros de campo, se han registrado los siguientes datos:

- Nombre de la persona que tomó la muestra;
- Fecha, hora y cualquier condición especial;
- Condiciones climatológicas;
- Condición del punto de muestreo;
- Coordenadas y altitud del punto de muestreo;
- Nombre de la muestra;
- Parámetros que deben analizarse para cada muestra;
- Tipo y cantidad de preservantes añadidos (en etiqueta y cadena de custodia); y
- Una fotografía del lugar de la toma de muestras.

El Anexo E presenta las fichas de información de campo.

Los parámetros de monitoreo para el análisis de laboratorio de calidad de agua son mostrados en la Tabla 3.4. Estos parámetros han sido seleccionados considerando tanto los ECA para agua vigentes, y además considerando parámetros de monitoreo adicionales que permitan la caracterización química de las aguas, tales como alcalinidad total, solidos totales disueltos, aniones y metales disueltos.

Tabla 3.3 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	BK
Aceites y Grasas	x	x	x	
Alcalinidad Total	x	x	x	
Amoniaco		x	x	
Bromuro, Br-	x	x	x	x
Cianuro Total	x	x	x	
Cianuro Wad		x		
Cianuro Libre		x	x	
Clorofila A			x	
Cloruros. Cl-	x	x	x	x
Color Verdadero	x	x	x	
Conductividad	x	x	x	
Cromo Hexavalente		x	x	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	x	x	x	
Demanda Química de Oxígeno	x	x		
Detergentes Aniónicos		x		
Dureza Total	x			
Fenoles	x	x	x	
Fluoruros. F-	x	x	x	x
Fósforo Total	x	x	x	
Fosfatos, PO4-3	x	x	x	x
Nitratos. NO3-	x	x	x	x
Nitritos. NO2-	x	x	x	x
Nitrógeno Amoniacal	x			
Nitrógeno Total			x	
pH	x	x	x	
Sólidos Totales Disueltos	x	x	x	

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	BK
Sólidos Totales Suspendidos	x	x	x	
Sulfatos. SO4-2	x	x	x	x
Sulfuros		x	x	
Turbidez	x	x	x	
Metales disueltos	x	x	x	x
Metales totales	x	x	x	x
Coliformes Fecales o Termotolerantes	x	x	x	
Coliformes totales	x	x		
Enterococos intestinales		x		
Escherichia coli	x	x		
Vibrio cholerae	x			
Microcistina LR	x			
Formas Parasitarias	x			
Huevos de Helmintos		x		
Organismos de Vida Libre	x			

Nota: Asub = agua subterránea; BK = blanco de campo y blanco viajero

3.2 Control de calidad

Para garantizar la calidad del proceso de muestreo y la repetibilidad de los resultados de las pruebas de las muestras, debe seguirse los siguientes procedimientos y anotarse cualquier información adicional cuando se tomen muestras superficiales y/o subterráneas:

- 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);

Para garantizar, o por lo menos cuantificar, la precisión de los métodos de muestreo de campo y resultados analíticos se ha considerado la toma de muestras de control de calidad. Las muestras de control de calidad han sido establecidas conforme se especifica en el ítem 6.17 del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. Nº 010-2016-ANA).

Tabla 3.4 Listado de muestras de control de calidad

Tipo de Control	Objetivo de evaluación
Blanco de campo	Contaminación en alguna parte del monitoreo
Blanco de viaje	Contaminación durante el transporte
Duplicado de campo	Precisión y repetitividad de los procedimientos de recolección

Un blanco de campo es un conjunto de recipientes de muestra que han sido llenados con agua bidestilada y etiquetados con una identificación de ubicación falsa. Los blancos de campo analizan las fuentes de contaminación durante el proceso de muestreo. Estos blancos de campo también pueden ayudar a identificar contaminación de laboratorio.

En cuanto al blanco de viaje, se trata de una muestra preparada en laboratorio a base de agua ultrapura, y que es enviada junto con el material de muestreo hasta el proyecto con la finalidad de efectuar el control de calidad da toda la cadena de campo.

Para preparar un duplicado ciego, se tomaron dos muestras al mismo tiempo y en el mismo lugar y se registró una de ellas con una identificación de lugar, hora y fecha ficticios en sus etiquetas.

3.3 Estándares y guías aplicadas

Se han seguido los siguientes estándares y guías nacionales en lo que resulta aplicable a las condiciones de monitoreo:

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, del 11 de enero del 2016. El protocolo permite dar pautas de cómo se realiza la toma de muestra, preservación, conservación, transporte de muestras y el aseguramiento de la calidad para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.
- 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.
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 07 de junio del 2017. Estos ECA para agua han sido empleados de manera referencial.

3.4 Laboratorio de análisis

Se ha empleado como laboratorio de análisis a SGS Perú S.A.C., el cual se encuentra acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación del Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), por lo cual los informes de ensayo cuentan con valor oficial. Los informes de ensayo de laboratorio son presentados en el Anexo G. Cabe resaltar que según ha informado SGS, en todos los informes de ensayo los nitratos y nitritos han sido reportados como NO3- y NO2- respectivamente. Las muestras recibidas por el laboratorio han sido clasificadas en “grupos” de ensayo, como sigue:

Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio

Punto	Informe de Ensayo	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
S27	MA2012295	04/08/2020	14:40
M28	MA2012299	04/08/2020	11:40
M29	MA2012293	04/08/2020	10:15
M27	MA2012293	04/08/2020	12:50

4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para el año 2020 incluye la toma de muestra en 1 punto con Categoría 1-A1 (véase Tabla 2.1). Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo. Como se puede observar, no se detectaron valores de color verdadero, turbidez, aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), DQO, fenoles, bromuros, fluoruros, nitritos ni fosfatos. La Tabla A.1 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1

Punto	Unidades	S27
Color Verdadero	UC	sd
Turbidez (Laboratorio)	NTU	sd
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	122.2
Dureza Total	mg CaCO3/L	135.4
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	252.6
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	139
pH (Laboratorio)*	pH	7.11
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	0.019
Fósforo Total	mg P/L	0.015
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	sd
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	sd
Aceites y Grasas	mg/L	sd
Cianuro Total	mg/L	sd
Fenoles	mg/L	sd
Bromuro, Br-	mg/L	sd
Cloruros. Cl-	mg/L	0.605
Fluoruros. F-	mg/L	sd
Nitritos, (como N)	mg/L	sd
Nitratos, (como N)	mg/L	0.26
Nitritos. NO2-	mg/L	sd
Nitratos. NO3-	mg/L	1.151
Fosfatos	mg/L	sd
Sulfatos. SO4-2	mg/L	16

nd: no detectado

La conductividad de campo en el punto S27 (141 µS/cm) se encuentra muy fuera del rango esperado, por lo que se tomará como válido el valor de la conductividad registrada en el laboratorio para ese punto (252.6 µS/cm). El pH mostró una buena concordancia entre el valor medido en campo (7.1) y

laboratorio (7.11). La concentración de STD fue 139 mg/L. La dureza total del agua fue considerada Dura. La alcalinidad fue moderada (<122 mg CaCO3/L).

Ningún parámetro excedió los ECA para la categoría.

4.1.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.2 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 1-A1. Las muestras de agua en el área exhiben la presencia de diversos metales como bario, calcio, estroncio, magnesio, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio, titanio y zinc.

El metal más abundante es el calcio con de 46.848 y 53.811 mg/L (disuelto y total respectivamente). Le sigue en importancia el silicio, magnesio, sodio y potasio. Ningún metal excedió los ECA para la categoría

Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1 (S27)

Parámetro	Unidad	Metales Disueltos	Metales Totales
Aluminio	mg/L	nd	nd
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd
Bario	mg/L	0.0036	0.0038
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	46.848	53.811
Cerio	mg/L	nd	nd
Cesio	mg/L	nd	nd
Cobalto	mg/L	nd	nd
Cobre	mg/L	nd	nd
Cromo	mg/L	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.0694	0.0819
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	nd	nd
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	1.217	1.293
Manganeso	mg/L	nd	nd
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Disueltos	Metales Totales
Níquel	mg/L	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd
Potasio	mg/L	0.78	0.93
Rubidio	mg/L	0.0022	0.0033
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	7.9	8.49
Silicio	mg/L	3.69	3.97
Sodio	mg/L	0.763	0.851
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	0.0008	0.0008
Uranio	mg/L	nd	nd
Vanadio	mg/L	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0151	0.0171
Zirconio	mg/L	nd	nd

nd = no detectado

4.1.3 Microbiológicos y parasitológicos

La Tabla 4.3 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros microbiológicos y bacteriológicos. Ningún parámetro fue detectado.

Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1

Parámetro	Unidad	S27
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	nd
Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	nd
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	nd
Detección de Vibrio Cholerae	en 1 L	Ausencia
Formas Parasitarias	Organismo/L	0
Giardia duodenalis	Organismo/L	Ausencia
Larvas De Helminto	Larvas/L	0
Nematodos intestinales	Organismo/L	0
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Pat.	Organismo/L	0
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Pat.	Organismo/L	0
Algas	Organismo/L	0
Copépodos	Organismo/L	0
Nematodos en todos sus estadios evolutivos	Organismo/L	0
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	0
Protozoarios	Organismo/L	0
Rotíferos	Organismo/L	0
Microcistina-LR	mg/L	nd

nd = no detectado

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC la temporada seca del 2020 incluye la toma de muestra en 1 punto con Categoría 3 (véase Tabla 2.1). Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. La Tabla A.2 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

4.2.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.4 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 (M28). De manera referencial los resultados de este grupo de muestras han sido comparados también con el ECA Categoría 4. Como se puede observar, no se detectaron valores de color verdadero, sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente, sulfuro, DBO5, DQO, SAAM, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuro. Fluoruro, nitritos, ni fosfatos.

Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3

Físico - químicos	Unidad	M28
Color Verdadero	UC	nd
Turbidez	NTU	2.7
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	150
Conductividad	uS/cm	292.9
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	162
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	nd
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd
Potencial de Hidrógeno	pH	7.93
Amoníaco	mg NH3/L	0.049
Fósforo Total	mg P/L	0.026
Sulfuro	mgS2-/l	nd
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	nd
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	nd
Aceites y Grasas	mg/L	nd
Cianuro Libre	mg/L	nd
Fenoles	mg/L	nd
Cianuro WAD	mg/L	nd
Bromuro, Br-	mg/L	nd
Cloruros, Cl-	mg/L	1.056
Fluoruros, F-	mg/L	nd
Nitritos, (como N)	mg/L	nd
Nitratos, (como N)	mg/L	0.081
Nitritos NO2-	mg/L	nd
Nitratos NO3-	mg/L	0.359
Fosfatos	mg/L	nd
Sulfatos, SO4-2	mg/L	10.65

nd = no detectado

La conductividad de campo en el punto M28 (277 µS/cm) guarda buena relación la conductividad obtenida en laboratorio (292.9 µS/cm). El pH mostró una buena concordancia entre el valor medido en campo (7.92) y laboratorio (7.93). La concentración de STD fue 162 mg/L.

Ningún parámetro físicoquímico excedió los ECA para la categoría.

4.2.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.5 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de M28.

Se detectó la presencia de aluminio, bario, calcio, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sílice, silicio, sodio, titanio, uranio y zinc. El metal más abundante es el calcio (60.515 mg/L en su forma total). Otros metales cuya concentración estuvo por encima de 1 mg/L fueron magnesio, sílice, silicio y sodio. El estroncio se presentó en una concentración menor que 1 mg/L pero mayor que 0.1 mg/L. Ningún metal excedió los ECA para la categoría.

Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en M28

Parámetro	Unidad	Metales Disueltos	Metales Totales
Aluminio	mg/L	0.029	0.069
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	0.00137
Bario	mg/L	0.0113	0.0127
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	60.515	64.383
Cerio	mg/L	nd	nd
Cesio	mg/L	nd	nd
Cobalto	mg/L	nd	nd
Cobre	mg/L	nd	nd
Cromo	mg/L	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.1494	0.1885
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	0.0143	0.1123
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	2.933	3.239
Manganeso	mg/L	0.00587	0.01303
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Disueltos	Metales Totales
Niobio	mg/L	nd	nd
Níquel	mg/L	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd
Potasio	mg/L	0.4	0.51
Rubidio	mg/L	nd	nd
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	2.19	2.9
Silicio	mg/L	1.02	1.36
Sodio	mg/L	1.687	2.719
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	0.0013	0.0014
Uranio	mg/L	0.000084	0.000136
Vanadio	mg/L	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0028	0.0041
Zirconio	mg/L	nd	nd

nd: no detectado

4.2.3 Microbiológicos y parasitológicos

La Tabla 4.6 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros microbiológicos y bacteriológicos en aguas Categoría 3 (M28).

Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3

Parámetro	Unidad	M28
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	4.5
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	nd
Detección y/o cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	nd

nd = no detectado

Los coliformes fecales fueron detectados en M28, pero con un valor de 4.5 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de E. Coli, ni huevos de helmintos.

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4

El programa de monitoreo semestral de LC para el año 2020 incluye la toma de muestra en 2 puntos con Categoría 4 (M29, M27). La Tabla A.3 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

4.3.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.7 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos analizados en las lagunas Alforjacocha y Lipiac

Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4

Parámetros	Unidad	M29	M27
Clorofila A	mg/L	nd	nd
Color Verdadero	UC	nd	nd
Turbidez	NTU	0.7	0.5
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	121.5	nd
Conductividad	uS/cm	257.6	115.3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	145	65
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	nd	nd
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd	nd
Potencial de Hidrógeno	pH	8.29	3.63
Amoníaco	mg NH3/L	0.113	0.041
Nitrógeno Total	mg N/L	0.26	0.11
Fósforo Total	mg P/L	0.017	0.026
Sulfuro	mgS2-/l	nd	nd
DBO5	mg/L	nd	nd
Aceites y Grasas	mg/L	nd	nd
Cianuro Libre	mg/L	nd	nd
Fenoles	mg/L	nd	nd
Bromuro	mg/L	nd	nd
Cloruro	mg/L	0.651	0.061
Fluoruro	mg/L	0.004	nd
Nitritos, (como N)	mg/L	nd	nd
Nitratos, (como N)	mg/L	0.021	nd
Nitritos. NO2-	mg/L	nd	nd
Nitratos. NO3-	mg/L	0.093	nd
Fosfato	mg/L	nd	nd
Sulfato	mg/L	9.55	10.95
Clorofila A	mg/L	nd	nd

nd = no detectado

Como se puede observar, no se detectaron valores de clorofila, color verdadero, sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente total, sulfuro, DBO5, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, bromuro, nitritos, fostatos ni clorofila A en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 4. El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M27. Esto se debería a que se encuentra ubicado alrededor del área mineralizada.

Ningún otro parámetro fisicoquímico excede los ECA.

Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4

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 en M29 y M27 son 256 y 108.8 µS/cm respectivamente, mientras que los resultados de laboratorio registran 257.6 y 115.3.6 µS/cm. Asimismo, las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.56. Las concentraciones de sólidos totales disueltos fueron de 145 mg/L en M29 y 65 mg/L en M27.

En cuanto los nutrientes, los nitratos solo se registraron en M29. Las concentraciones de amoniaco fueron en general bajas. Las concentraciones de sulfato fueron de 9.55 mg/L en M29 y 10.95 mg/L en M27. Los sulfatos fueron el anión predomínate en M27. Los cloruros se detectaron en cantidades menores a 0.651 mg/L en ambos puntos, mientras que los fluoruros solo se detectaron en M29 (0.004 mg/L).

4.3.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.8 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 4. Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la Categoría 4, subcategoría E1 (lagos y lagunas) en el punto M27. Esta excedencia se ha presentado a lo largo de todas las rondas de monitoreo previas, desde la línea de base, salvo en cuatro ocasiones.

Figura 4.2 Metales que exceden los ECA para la Categoría 4

Las muestras obtenidas de las lagunas exhiben la presencia de diversos metales incluyendo: aluminio, arsénico, bario, cesio, calcio, cobalto, cobre, estroncio, hierro, litio, magnesio, manganeso, níquel, plomo, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio, uranio y zinc. Generalmente las concentraciones disueltas representan más de la mitad de la concentración total.

Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4

Parámetro	Unidad	M29		M27	
		Metales disueltos	Metales totales	Metales disueltos	Metales totales
Aluminio	mg/L	nd	nd	1.423	1.46
Antimonio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd	nd	nd
Bario	mg/L	0.0066	0.007	0.0172	0.0176
Berilio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Calcio	mg/L	40.062	46.966	0.926	0.966
Cerio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cesio	mg/L	nd	nd	0.0004	0.0005
Cobalto	mg/L	nd	nd	0.00111	0.00111
Cobre	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cromo	mg/L	nd	nd	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.143	0.1796	0.0059	0.0061
Fósforo	mg/L	nd	nd	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Hierro	mg/L	0.0105	0.0163	0.7008	0.9765
Lantano	mg/L	nd	nd	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd	0.001	0.0011
Lutecio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Magnesio	mg/L	2.837	3.056	0.253	0.265
Manganeso	mg/L	nd	nd	0.03576	0.03605
Mercurio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Níquel	mg/L	nd	nd	0.0013	0.0014
Plata	mg/L	nd	nd	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	0.0009	0.0077	0.0078
Potasio	mg/L	0.21	0.29	0.49	0.54
Rubidio	mg/L	nd	nd	0.0017	0.0018
Selenio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Sílice	mg/L	3.36	4.44	5.05	5.52
Silicio	mg/L	1.57	2.08	2.36	2.58
Sodio	mg/L	0.827	1.014	0.195	0.206
Talio	mg/L	nd	nd	0.00028	0.00037
Tantalio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Titanio	mg/L	0.001	0.001	nd	nd
Uranio	mg/L	0.000082	0.000134	nd	nd
Vanadio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd	nd	nd

Parámetro	Unidad	M29		M27	
		Metales disueltos	Metales totales	Metales disueltos	Metales totales
Zinc	mg/L	nd	0.0033	0.0655	0.0657
Zirconio	mg/L	nd	nd	nd	nd

nd: no detectado

4.3.3 Microbiológicos y parasitológicos

Se tomaron muestras para el análisis de coliformes fecales y estos no fueron detectados en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 4.

4.4 Pasivos ambientales

Durante la presente ronda de monitoreo se programó la toma de muestra en PA-01. Por tratarse de aguas de contacto, los resultados de los análisis serían comparados con los límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. En PA-01 solo se encontraron pequeños empozamientos, pero sin volumen suficiente para tomar una muestra. Solo se registraron parámetros de campo, los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.9 Parámetros de campo registrados en PA-01

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
PA-01	7.23	773.0	7.35	9.4	13.7

4.5 Evaluación Hidroquímica

La Tabla 4.10 presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de aguas naturales, expresados como miliequivalente. Con fines de complementar el balance iónico se ha incluido se han incluido fluoruros (F^-) y nitratos (NO_3^{-2}). Esto debido a que dichos iones han sido detectados en importante porcentaje con respecto al resto. En monitoreos anteriores se incluyó el aluminio en la lista de cationes, pero con fines de mantener el estándar aceptado académicamente, en este monitoreo dicho metal no ha sido considerado.

Tabla 4.10 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
S27	2.441	0.003	0.017	0.000	0.333	0.004	2.342	0.100	0.020	0.033	0.000
M28	2.974	0.025	0.030	0.000	0.222	0.006	3.026	0.240	0.010	0.073	0.003
M29	2.382	0.047	0.018	0.000	0.199	0.002	2.003	0.233	0.005	0.036	0.000
M27	0.000	0.000	0.002	0.000	0.228	0.000	0.046	0.021	0.013	0.008	0.158

Nota: HCO3- bicarbonato, CO3-2 carbonato, Cl- cloruros, F- fluoruros, SO4-2 sulfatos, NO3-, nitratos, Ca+2 calcio, Mg+2 magnesio, K+ potasio, Na+ sodio, Al+3 aluminio, Todas las concentraciones son mostradas en miliequivalentes/L (meq/L).

El calcio es el catión predominante en 21 de las 28 muestras, variando desde el 43% hasta el 95% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 77%. En los puntos S30A, M38, M8, PA-04 y M2 el catión predominante fue el aluminio. La Figura 4.16 muestra la distribución de la carga catiónica total por punto de monitoreo.

De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 85% de la carga aniónica total (CAT) en 19 de 28 muestras de agua. En 9 puntos el anión predominante es el sulfato con un promedio de 85% de la CAT.

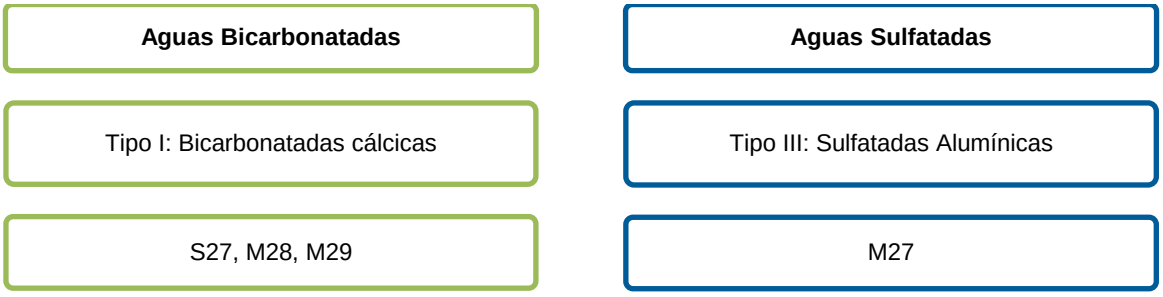
Tabla 4.11 Iones principales y tipos de agua

Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
S27	7.11	122.20	252.6	139	Ca	HCO3	Tipo I
M28	7.93	150.00	292.9	162	Ca	HCO3	Tipo I
M29	8.29	121.50	257.6	145	Ca	HCO3	Tipo I
M27	3.63	0.00	115.3	65	Al	SO4	Tipo III

Con base en los contenidos observados de los iones principales en los puntos de monitoreo de aguas naturales, los tipos químicos de agua identificados en la zona son los siguientes:

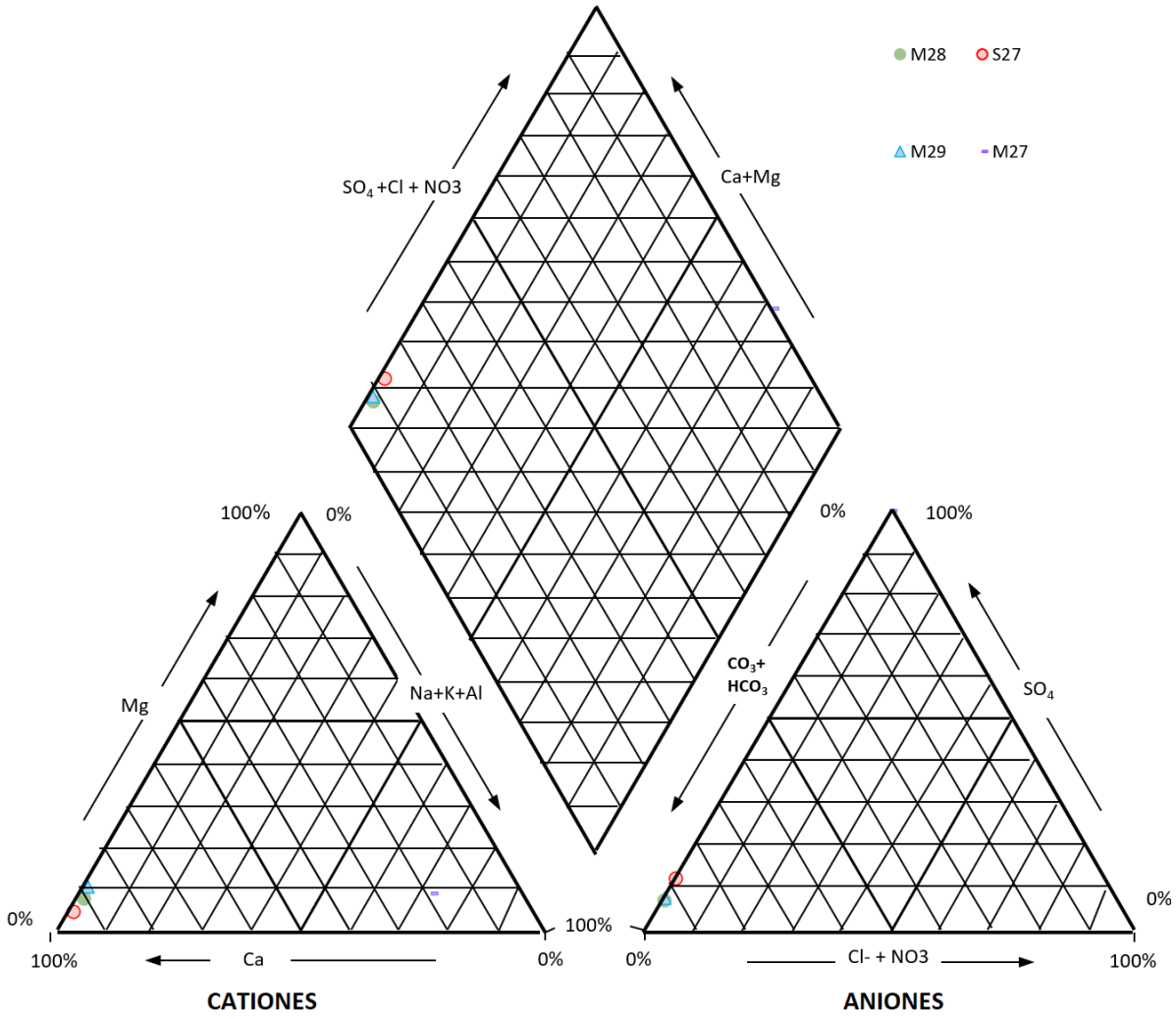
- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S27, S12, S22C, M28 y M29. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (139 a 162 mg/L), una alcalinidad moderada (121.5 a 150 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (7.11 a 8.29). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo III: Sulfatadas - Alumínicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27.

Figura 4.3 Clasificación hidroquímica



Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.4) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). En el campo triangular izquierdo se grafica el porcentaje de los valores de los tres grupos de cationes (Ca2+, Mg2+, Na+, K+). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO3-, CO3 -2 SO4-2 y Cl-). El diamante central es usado para mostrar todo el carácter químico del agua como un tercer punto.

Figura 4.4 Diagrama Piper

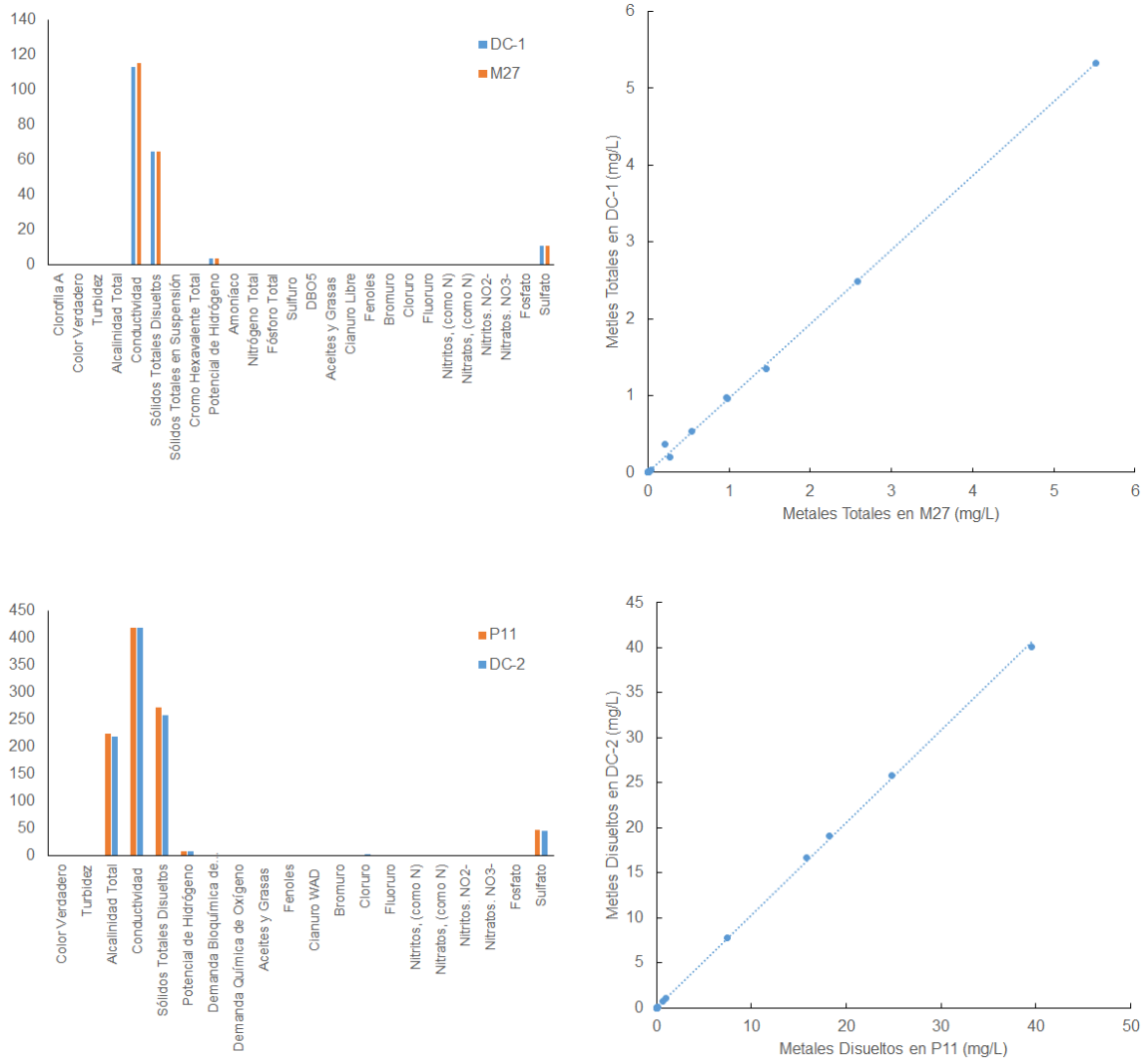


5 Control de calidad

5.1 Duplicado de muestra

Los resultados del análisis fisicoquímico de los duplicados de las muestras de agua superficial (DC-1 duplicado de M27) y agua subterránea (DC-2 duplicado de P11) son presentados en las tablas A.4, A.5 y Figura 6.1.

Figura 5.1 Comparación de muestra duplicado



a. Parámetros físico-químicos b. Metales

De los resultados obtenidos se observa que ambas muestras presentan valores similares con lo que se verifica la calidad de la precisión y análisis de laboratorio.

5.2 Blancos

5.2.1 Blanco de campo

La muestra correspondiente al blanco de campo es agua ultrapura (libre de iones) enviada al laboratorio para ser analizada del mismo modo que las muestras de agua superficial, con el propósito de identificar potencial contaminación durante el proceso de transporte, almacenamiento o análisis. El blanco fue llenado en campo y enviado al laboratorio con el resto las muestras.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a esta muestra son presentados en las tablas A.6. Como se puede observar todos los parámetros analizados han sido reportados como no detectados, lo cual valida la confiabilidad del proceso de toma de muestras.

5.2.2 Blanco viajero

La muestra etiquetada como blanco viajero es agua ultrapura (libre de iones) preparadas en el laboratorio y enviada junto con el resto de material (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.

Los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos y del análisis de metales totales del blanco viajero se muestran en la Tabla A.6. Los resultados muestran que tal como se esperaba no se detectaron ninguno de los parámetros analizados.

5.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio

El control de calidad de los datos de laboratorio se ha efectuado siguiendo los lineamientos indicados

- Balance iónico
- Revisión cruzada de parámetros: Comparación de conductividad eléctrica de campo y laboratorio, razón entre sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica y comparación de concentraciones obtenidas para metales disueltos y sus correspondientes metales totales.

5.3.1 Balance iónico

El balance iónico fue efectuado considerando como cationes principales: Calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), potasio (K^{+}), sodio (Na^{+}), aluminio (Al^{+3}) e hidronio (H^{+}); y como aniones principales: Bicarbonato (HNO_3^{-}), carbonato (CO_3^{-2}), cloruros (Cl^{-}), fluoruros (F^{-}), sulfato (SO_4^{-2}), nitrito (NO_2^{-}), nitrato (NO_3^{-}) e hidroxilo (OH^{-}). El porcentaje de diferencia entre cationes y aniones se expresa como sigue:

$$\%\, diferencia = 100 \times \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones}$$

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). Para aguas superficiales un error de hasta 10% es aceptable.

Asimismo, en el documento *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999), se recomiendan los siguientes criterios de aceptación:

Tabla 5.1 Criterios de análisis de balance iónico

Suma de aniones (meq/L)	Diferencia aceptable
0 – 3.0	±0.2 meq/L.
3.0 – 10.0	± 2%
10.0 – 800	± 5%

Es necesario tomar en cuenta que estas últimas recomendaciones han sido hechas para el control de calidad de análisis de laboratorio de agua potable. Debido a que en ninguno de los casos se ha analizado agua potable, la diferencia aceptable indicada por este criterio ha sido tomada como referencial. La Tabla 6.2 resume los resultados del balance

Tabla 5.2 Balance iónico

Punto	∑ aniones meq/L	∑ cationes meq/L	∑cat - ∑anio meq/L	DPR %
S27	2.87835	2.5073	-0.3710	-6.9%
M28	0.10544	0.2387	0.1333	38.7%
M29	0.22961	0.4806	0.2510	35.3%
M27	0.18011	0.2025	0.0224	5.9%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de M28 y M29 cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS. Es importante que el propio laboratorio de análisis efectúe un balance iónico interno antes de emitir los resultados.

5.3.2 Revisión cruzada de parámetros

Se efectuó una revisión cruzada de los siguientes parámetros: pH medido en laboratorio, versus vs pH medido en campo, conductividad eléctrica versus conductividad de campo, conductividad eléctrica versus sólidos totales disueltos, concentración de metales totales versus concentración de metales disueltos y conteo de coliformes totales versus conteo de coliformes fecales.

Se verificó que existe una buena relación entre las mediciones de conductividad eléctrica efectuadas en campo, con sus correspondientes análisis de laboratorio. La relación STD/Conductividad observada en las muestras tiene un promedio de 0.61. Los valores de conductividad registrados en campo son similares a los obtenidos tras el análisis de laboratorio.

Se verificó que en todos los casos las concentraciones de metales totales fueron superiores a las de los correspondientes metales disueltos.

Se verifico que en todos los casos el conteo de coliformes totales es superior al conteo de coliformes termotolerantes.

6 Conclusiones y recomendaciones

Las aguas naturales presentes en el área del proyecto son en general de buena calidad con baja a moderada concentración de sólidos totales disueltos. Los valores de conductividad, dureza, y alcalinidad varían directamente con el incremento de STD. Aguas con bajo valor de STD en el área mineralizada son influenciadas por la oxidación natural de minerales sulfuro, los cuales en gran proporción son el resultado del sulfato y bajos valores de pH.

Bajas concentraciones de metales totales y disueltos se presentan en la mayoría de las muestras evaluadas.

En algunos puntos se excedió los ECA para agua en las distintas categorías. Estos se resumen a continuación, según categoría de análisis.

Aguas Categoría 1-A1:

- Ningún parámetro excedió los ECA para la categoría

Aguas Categoría 3:

- Ningún parámetro excedió los ECA para la categoría.

Aguas Categoría 4:

- El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M27. Este punto se encuentra inmediatamente alrededor del área mineralizada, por lo que los valores naturales de pH serían consecuencia de la geología de la zona.
- Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la Categoría 4, subcategoría E1 (lagos y lagunas) en el punto M27. Esta excedencia se ha presentado a lo largo de todas las rondas de monitoreo previas, salvo en cuatro ocasiones. M27 se encuentra al lado de la zona mineralizada con presencia de galena (sulfuro de plomo), lo cual explicaría la presencia de plomo en las aguas.

Con base en los contenidos observados de los iones principales en los puntos de monitoreo de aguas naturales, los tipos químicos de agua identificados en la zona son los siguientes:

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S27, S12, S22C, M28 y M29. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (139 a 162 mg/L), una alcalinidad moderada (121.5 a 150 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (7.11 a 8.29). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo III: Sulfatadas - Alumínicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27.

En base a los controles de calidad aplicados, se puede indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento y transporte no han generado algún tipo de distorsión en las muestras y los análisis pueden ser considerados representativos. Asimismo, el control de calidad de resultados de laboratorio indica que estos pueden ser considerados representativos de las muestras. Sin perjuicio de lo anterior, es importante que el propio laboratorio de análisis efectúe un balance iónico interno antes de emitir los resultados. Especial atención requieren los puntos con pH muy ácido, que son coincidentemente aquellos en el balance iónico presentó mayor desviación.

Se recomienda tomar contacto con los operadores de las captaciones de agua para consumo doméstico en las que se han detectado presencia de coliformes totales y fecales, a fin de indicarles la necesidad de efectuar una jornada de limpieza de tanques. Esta limpieza debería ser efectuada en forma previa al siguiente monitoreo semestral.

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.

Ministerio del Ambiente, Perú (2010). Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas.

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 Program - World Health Organization WHO (1996). Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programs.