PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2019

INFORME ZONA III

Revisión C

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.

Lumina copper sac

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, FEBRERO 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	**METODOLOGÍA**	**7**
3.1	Medición de parámetros in-situ	7
3.2	Medición de caudales	8
3.3	Muestreo para el análisis de laboratorio	8
3.4	Control de calidad	10
3.5	Estándares y guías aplicadas	11
3.6	Laboratorio de análisis	11
4	**RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA**	**13**
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	13
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	13
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	14
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	16
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	16
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	16
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	18
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	19
4.3	Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4	20
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos	20
4.3.2	Inorgánicos (Metales)	22
4.3.3	Microbiológicos y parasitológicos	23
4.4	Pasivos ambientales	23
4.5	Evaluación Hidroquímica	24
5	**CONTROL DE CALIDAD**	**27**
5.1	Duplicado de muestra	27
5.2	Blancos	28
5.2.1	Blanco de campo	28
5.2.2	Blanco viajero	28

5.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio 28
5.3.1 Balance iónico 28
5.3.2 Revisión cruzada de parámetros 29

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 31

7 REFERENCIAS 33

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 Listado de parámetros medidos en campo 7
Tabla 3.2 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo 7
Tabla 3.3 Flujos registrados en campo 8
Tabla 3.4 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría 9
Tabla 3.5 Listado de muestras de control de calidad 11
Tabla 3.6 Informes de ensayo de laboratorio 12
Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 13
Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1 15
Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1 16
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 17
Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3 18
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 19
Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4 20
Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4 22
Tabla 4.9 Resultados de parámetros regulados por LMP minero metalúrgicos en Pasivos ambientales 24
Tabla 4.10 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 25
Tabla 4.11 Iones principales y tipos de agua 25
Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico 29
Tabla 6.2 Balance iónico 29

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución de las muestras programadas y efectuadas según categoría 5
Figura 3.1 Procedimiento de muestreo 8

Figura 4.1 Clasificación de las aguas Categoría 1-A1 según su dureza, pH, STD y alcalinidad 14
Figura 4.2 Alcalinidad total, STD (mg/L), Conductividad (uS/cm) y pH 21
Figura 4.3 Metales que exceden los ECA para la Categoría 4 22
Figura 4.4 Parámetros físico – químicos y metales que exceden los LMP Minero Metalúrgicos en Pasivos Ambientales 24
Figura 4.5 Clasificación hidroquímica 26
Figura 4.6 Diagrama Piper 26
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado 27

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 monitoreo
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 húmeda 2019. El monitoreo se llevó a cabo del 21 al 30 de noviembre de 2019. Las áreas de trabajo incluyen las zonas altas de la quebrada Chirimayo. Es importante mencionar que durante todo el periodo de monitoreo se presentaron lluvias intensas en las diferentes zonas de trabajo. 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 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 esta oportunidad asistieron:

- Sr. Jaime Llanos Salazar.
- Sr. Manuel Salazar Llanos.
- Sr. Anunciación Huamán Chávez
- Sr. Eliseo Medina Villanueva
- Sr. Olger Tacilla Alvarado.
- Sr. Edwin Chávez Cortez
- Sr. Hipólito Yupanqui Suárez
- Sr. Manuel Alvarado Ayala
- Sr. Ever Mestanza Díaz
- Sr. Nando Miranda Miranda.

Adicionalmente, asistieron las siguientes personas:

- 21 de noviembre de 2019. Sr. Santos Casahuamán Salazar, agente municipal de Santa Rosa de Milpo; Sra. Sarita Vásquez Cueva; Sr. Auber Acosta Villar, representante de la ALA; Sra. Tatiana Rivera Aguilar, representante de la ALA.
- 26 de noviembre de 2019. Sr. Francisco Tasilla Valera, presidente de la JASS La Chorrera-Lipiac.

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

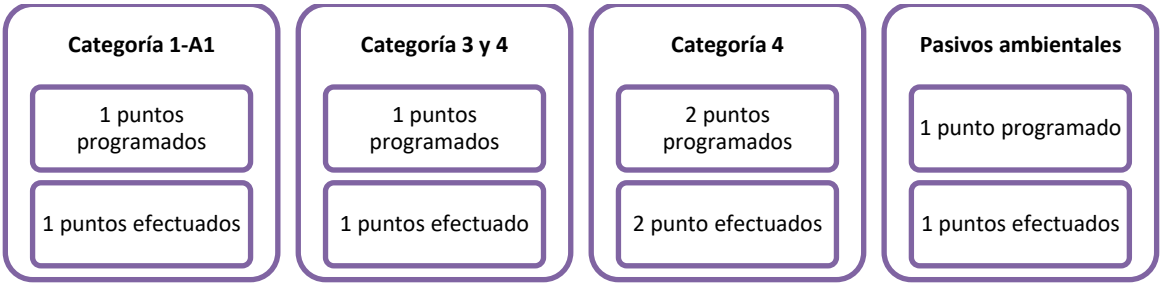
Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
Zona III						
S27	796610	9229793	3853	ACD en La Chorrera	1-A1	Si
M28	796555	9230843	3714	Qda. La Chorrera	3	Si
M27	795918	9229745	3779	Laguna Lipiac	4-E1	Si
M29	794788	9231687	3778	Laguna Alforjacocha	4-E1	Si
PA01	798100	9229936	3797	Pasivo ambiental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

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

De los puntos de monitoreo con toma de muestra programados para la presente ronda, no fue posible obtener una muestra en los siguientes casos:

- Punto PA-02. Pasivo ambiental en Santa Rosa Milpo. El pasivo, corresponde a un botadero de desmonte actualmente cerrado y revegetado. El área no presenta efluentes aun cuando se tuvo presencia de lluvias.

Figura 2.1 Distribución de las muestras programadas y efectuadas según categoría



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
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

Punto M15 no fue monitoreado. Corresponde a un afloramiento de agua en las cercanías del tanque de agua para consumo doméstico de La Chorrera. Si bien se ubica en propiedad de Lumina, existe un litigio de terreno por parte del posesionario anterior. Este punto no está siendo monitoreado desde el 2016 debido a indicaciones del equipo de Relaciones Comunitarias.

3 Metodología

3.1 Medición de parámetros in-situ

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 que fueron medidos en campo, y los valores referenciales de las sensibilidades de los equipos utilizados.

Tabla 3.1 Listado de parámetros medidos en campo

Sonda	ID	Parámetro	Rango	Precisión	Tecnología de medición
Sonda pH/ORP	pH/ORP/T°C	Temperatura	-5.00 a +55.00°C	± 0.1 °C	CTN
		pH	0.00 a 14.00 pH	± 0.1	Electrodo combinado con compensación de temperatura integrada
		ORP	-1000 a +1000 mV	± 2 mV	Electrodo combinado con compensación de temperatura integrada
Sonda Oxígeno	OPTOD	Oxígeno disuelto / T°C	0.00 a 20.00 mg/L 0.00 a 200% SAT	± 0.1 mg/L ± 1%	Óptica con compensación de temperatura integrada
Sonda Conduct.	C4E	Conductividad	0.0 a 200.0 µS/cm 0 a 2000 µS/cm 0.0 a 20.00 mS/cm 1.0 0.0 a 200.0 mS/cm	± 1%	Amperométrica 4 electrodos con compensación de temperatura integrada
		Salinidad TDS	0.00 – 133000 ppm	± 0.5%	
		Salinidad	0 – 76 g/kg/PSU	± 1%	
Sonda Turbiedad	NTU	Turbiedad	0.00 a 50.0 NTU 0.0 a 200.0 NTU 0 a 1000 NTU 0 a 4000 NTU	± 1%	Nefelometría infrarroja con compensación de temperatura integrada

La tabla siguiente muestra los parámetros de campo registrados:

Tabla 3.2 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Potencial de óxido reducción (mV)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
S27	7.19	261.2	170.0	219.4	5.8	9.5	0.1
M28	7.98	287.9	187.0	114.4	6.7	10.5	4.4
M29	7.80	280.6	183.0	139.1	7.5	10.9	0.78
M27	4.55	38.8	25.0	228.9	5.1	10.4	1.07
PA01	6.78	651.1	422.0	125.2	6.7	8.8	46.9

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.

Los valores de cada medición fueron anotados en los correspondientes formatos de campo para su posterior cálculo. El Anexo F presenta los registros de aforo.

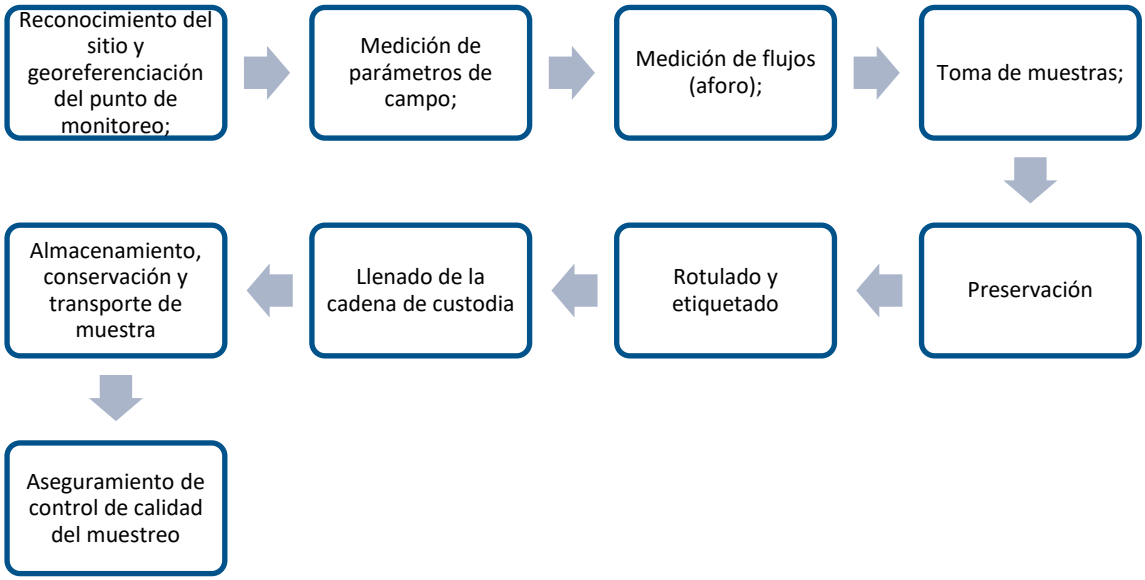
Tabla 3.3 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Método	Observación
S27	-	No aforado	No fue posible aforar ingreso por encontrarse muy profundo.
M28	162.88	Área - Velocidad	-
M29	-	No aforado	No fue posible aforar debido a ingreso distribuido
M27	-	No aforado	Laguna
PA01	-	No aforado	Afloramiento somero. No es posible aforar.
M15	-	No aforado	Sin acceso social

3.3 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 3.4 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría

Categoría	1-A1	3 y 4	4	Subterr	Pasivos	Bk campo	Bk viajero
Aceites y Grasas	x	x	x	x	x		
Alcalinidad Total	x	x	x	x	x		
Amoniaco (NH3)		x	x				
Aniones por CI: Bromuro, Cloruros, Fluoruros, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Sulfatos	x	x	x	x	x	x	x
Cianuro Libre		x	x				
Cianuro Total	x				x		
Cianuro Wad		x		x			
Clorofila A			x				
Coliformes Fecales	x	x	x	x			
Coliformes Totales	x						
Color Verdadero	x	x	x	x	x		
Conductividad	x	x	x	x	x		
Cromo Hexavalente		x	x		x		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	x	x	x	x	x		
Demanda Química de Oxígeno	x	x		x	x		
Detergentes		x					

Categoría	1-A1	3 y 4	4	Subterr	Pasivos	Bk campo	Bk viajero
Dureza Total	x						
Escherichia coli	x	x					
Fenoles	x	x	x	x			
Fósforo Total	x	x	x				
Huevos de Helmintos		x					
Metales disueltos	x	x	x	x	x	x	x
Metales totales	x	x	x	x	x	x	x
Microcistina LR	x						
Nitrógeno Amoniacal (NH3-N)	x				x		
Nitrógeno Total			x				
Organismos de Vida Libre	x						
Formas parasitarias	x						
pH (Laboratorio)	x	x	x	x	x		
Sólidos Totales Disueltos	x	x	x	x	x		
Sólidos Totales Suspendidos		x	x		x		
Sulfuros		x	x				
Turbidez	x	x	x	x			
Vibrio Cholerae	x						
Bacterias heterotróficas							x

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

3.4 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 3.5 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

Para establecer la cantidad de parámetros y número de muestras de control de calidad requeridas se ha empleado el manual de aseguramiento de calidad del laboratorio SGS (laboratorio de análisis).

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 ultra pura, 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.

3.5 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.

3.6 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 3.6 Informes de ensayo de laboratorio

Punto	Zona	Informe de ensayo
PA-01	Zona III	MA1929749
M28	Zona III	MA1930237
M29	Zona III	MA1930234
M27	Zona III	MA1930234
S27	Zona III	MA1930233

En total se ha hecho entrega de 1 punto Categoría 1-A1, 1 puntos Categoría 3 y 4, 2 puntos Categoría 4, 1 punto de pasivo ambiental. Adicionalmente se ha entregado 2 duplicados de campo (Categoría 4 y agua subterránea), y 3 puntos de control de calidad (2 blancos de campo y 1 blanco viajero).

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 2019 incluye la toma de muestra en 1 punto con Categoría 1-A1 (véase Tabla 2.1) en la Zona III. Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo 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 en la Zona III (S27). Como se puede observar, no se detectaron valores de color verdadero, nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), aceites y grasas, cianuro total, fenoles, bromuros, 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

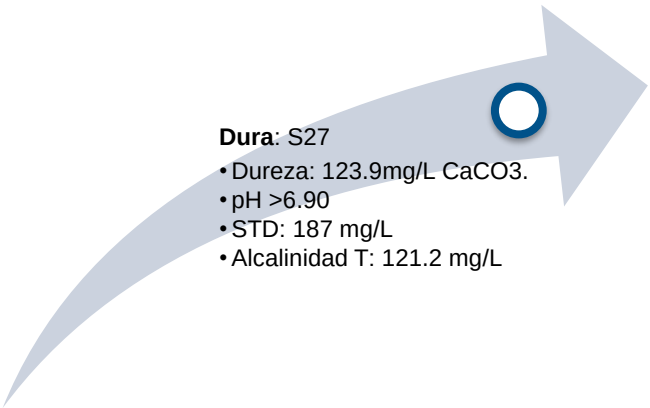
Punto	Unidades	S27
Parámetros de campo		
pH	Unidades pH	7.19
Conductividad	uS/cm	261.2
Potencial de óxido reducción POR	mV	219.4
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.8
Temperatura	°C	9.5
Turbidez	NTU	0.1
Caudal	(L/s)	-
Materiales flotantes	-	Ausencia
Parámetros fisicoquímicos de laboratorio		
Color Verdadero	UC	nd
Turbidez (Laboratorio)	NTU	0.4
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	121.2
Bicarbonato (**)	mg CO3-2/L	121.1
Carbonato (**)	mg CO3-1/L	0.1
Dureza Total	mg CaCO3/L	123.9
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	247.7
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	187
pH (Laboratorio)*	pH	6.90
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	nd
Fósforo Total	mg P/L	0.012
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	6
Aceites y Grasas	mg/L	nd
Cianuro Total	mg/L	nd
Fenoles	mg/L	nd
Bromuro, Br-	mg/L	nd
Cloruros. Cl-	mg/L	0.499

Punto	Unidades	S27
Fluoruros. F-	mg/L	0.111
Nitritos, (como N)	mg/L	nd
Nitratos, (como N)	mg/L	0.367
Nitritos. NO2-	mg/L	nd
Nitratos. NO3-	mg/L	1.62
Fosfatos	mg/L	nd
Sulfatos. SO4-2	mg/L	11

nd = no detectado

Existe buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo (261.2 µS/cm) y su correspondiente resultado de laboratorio (247.2 µS/cm). El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (7.19) y laboratorio (6.90). La concentración de STD medido en laboratorio guarda una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón de 0.75. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD de 187 mg/L. La alcalinidad fue moderada (121.2 mg/L). La dureza fue considerada dura (123.9 mg/L $CaCO_3$)

Figura 4.1 Clasificación de las aguas Categoría 1-A1 según su dureza, pH, STD y alcalinidad



En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito se presentaron por debajo del límite de detección analítico del laboratorio. Las concentraciones de nitratos (como NO_3) fueron de 1.62 mg/L. La concentración de sulfato fue 11 mg/L. La concentración de cloruros fue 0.499 mg/L. Los fluoruros fueron detectados en una concentración de 0.111 mg/L. En ninguno de los casos se excedieron los ECA para la categoría 1-A1.

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 (S27). La muestra de agua S27 exhibe la presencia de diversos metales: bario, calcio, cobre (solo total), estroncio, hierro, magnesio, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio y zinc. Los demás metales no fueron detectados.

El metal más abundante es el calcio con 55.589 mg/L. Le sigue en importancia sílice, silicio, magnesio, potasio y sodio. Ningún metal excedió los ECA para la categoría.

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

Parámetro	Unidad	Metales en S27	
		Totales	Disueltos
Aluminio	mg/L	nd	nd
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd
Bario	mg/L	0.0038	0.0031
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	55.859	48.183
Cerio	mg/L	nd	nd
Cesio	mg/L	nd	nd
Cobalto	mg/L	nd	nd
Cobre	mg/L	0.00173	nd
Cromo	mg/L	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.0769	0.0708
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	0.0016	0.0013
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	1.118	1.102
Manganeso	mg/L	nd	nd
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd
Níquel	mg/L	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd
Potasio	mg/L	0.87	0.65
Rubidio	mg/L	0.0022	0.001
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	6.54	6.53
Silicio	mg/L	3.06	3.05
Sodio	mg/L	0.25	0.243
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	nd	nd
Uranio	mg/L	nd	nd
Vanadio	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales en S27	
		Totales	Disueltos
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0126	0.0082
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. Ninguno de los parámetros 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 Fecales o 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
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Patógenos	Organismo/L	0
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	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	0

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 para la temporada húmeda del 2019 incluye la toma de muestra en 1 punto con Categoría 3 en la Zona II (M28). 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. De manera referencial los resultados de este grupo de muestras han sido comparados también con el ECA Categoría 4 para ríos y quebradas de la sierra. Como se puede observar, no se detectaron valores cromo hexavalente, amoniaco, sulfuro, DBO_5, SAAMS, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuros, nitritos, ni fosfatos.

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

Parámetros	Unidad	M28
Parámetros de campo		
pH	Unidades pH	7.98
Conductividad	uS/cm	287.9
Redox (POR)	mV	114.40
Oxígeno disuelto	mg/L	6.7
Temperatura	°C	10.5
Turbidez	NTU	4.4
Caudal	L/s	162.9
Parámetros fisicoquímicos de laboratorio		
Color Verdadero	UC	7
Turbidez	NTU	4.8
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	148.9
Bicarbonato	-	148.3
Conductividad	uS/cm	270
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	190
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	3
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd
Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	7.56
Amoníaco	mg NH3/L	nd
Fósforo Total	mg P/L	0.018
Sulfuro	mgS2-/l	nd
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	7.90
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	1.171
Fluoruros, F-	mg/L	0.085
Nitritos, (como N)	mg/L	nd
Nitratos, (como N)	mg/L	0.101
Nitritos NO2-	mg/L	nd
Nitratos NO3-	mg/L	0.445
Fosfatos	mg/L	nd
Sulfatos, SO4-2	mg/L	10.44
Nitratos + Nitritos (como N)	mg/L	0.101

nd = no detectado

El valor de pH registrados en campo fue de 7.98, mientras que el valor obtenido en laboratorio fue de 7.56. Asimismo, el valor de conductividad registrado en campo fue de 287.9 µS/cm, mientras que el resultado de laboratorio fue 270 µS/cm mostrando en ambos casos concordancia. Las concentraciones

de STD medidos en laboratorio guardan una razón 0.70, similar a lo encontrado en otras áreas. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD de 190 mg/L. La alcalinidad fue moderada a alta con 148.9 mg CaCO3/L (muestra con pH alcalino).

En cuanto los nutrientes, la concentración de nitrato (como NO_3) fue de 0.445 mg/L. La concentración de sulfato fue de 10.44 mg/L. La concentración de cloruros fue 1.171 mg/L. Los fluoruros fueron detectados con una concentración de 0.085 mg/L.

En ninguno de los casos se excedieron los ECA para la categoría 3.

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 Categoría 3 en la Zona III (M28).

Aluminio, bario, calcio, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, plomo (total), potasio (total), sílice, silicio, sodio, uranio (total) y zinc estuvieron presentes en esta muestra. Los demás metales no fueron detectados. El metal más abundante es el calcio, con 63.62 mg/L en su forma total. Le sigue en importancia sílice, el silicio, magnesio, potasio, aluminio y sodio.

Ningún metal detectado excedió los ECA para las categorías 3 y 4.

Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3

Parámetro	Unidad	Metales en M28	
		Totales	Disueltos
Aluminio	mg/L	0.271	<0.003
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd
Bario	mg/L	0.011	0.0091
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	63.62	54.673
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	0.1868	0.1749
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	0.3999	0.0182
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales en M28	
		Totales	Disueltos
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	3.552	3.401
Manganeso	mg/L	0.01669	0.00225
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd
Níquel	mg/L	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	0.0011	nd
Potasio	mg/L	0.26	nd
Rubidio	mg/L	nd	nd
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	2.53	2.35
Silicio	mg/L	1.18	1.1
Sodio	mg/L	0.756	0.71
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	nd	nd
Uranio	mg/L	0.000058	nd
Vanadio	mg/L	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0037	0.0035
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). Los resultados mostrados en la tabla han sido comparados con los valores establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

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

Parámetro	Unidad	S27
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	2
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	nd
Detección y/o cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	0

nd = no detectado

Los coliformes fecales fueron detectados con un valor de 2 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de enterococos fecales, E. Coli, ni huevos de helmintos.

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4

El programa de monitoreo semestral de LC para el año 2019 incluye la toma de muestra en 2 puntos con Categoría 4 (M29, M27) en la Zona III. 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 Lípiac.

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

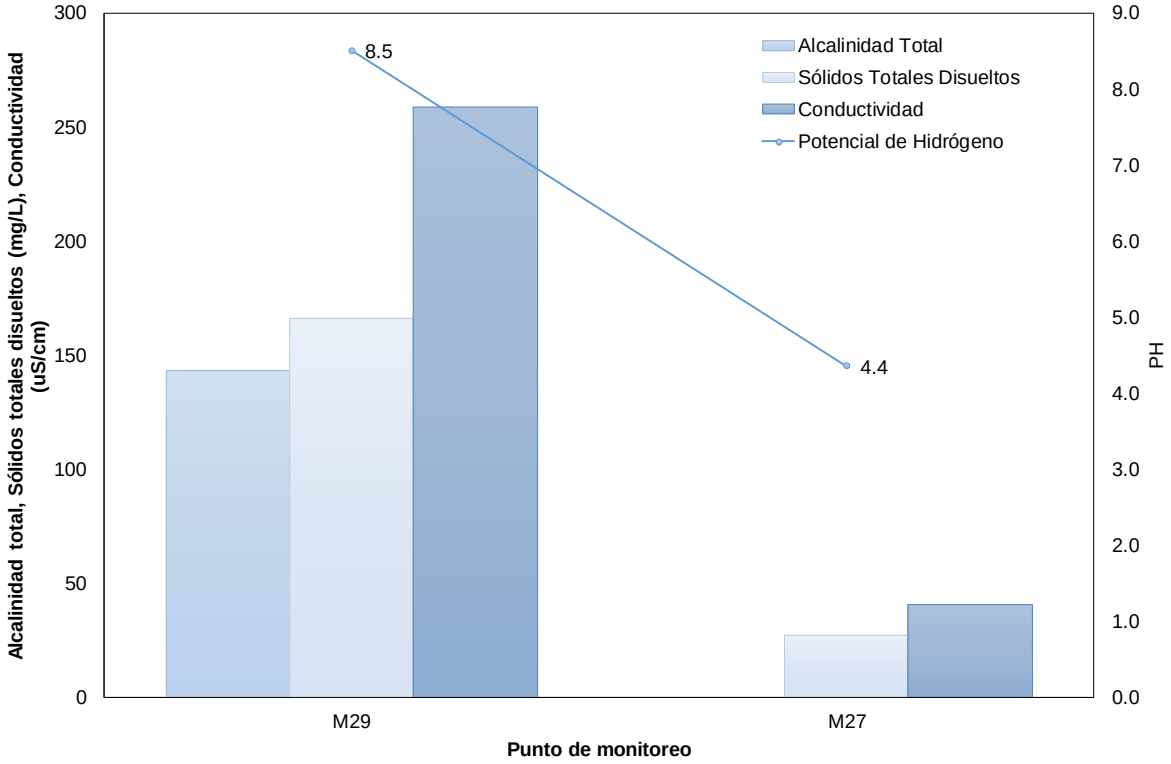
Parámetros	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Parámetros de campo					
pH	pH	2	4.55	7.8	1
Conductividad	uS/cm	2	38.8	280.6	
Potencial de óxido reducción	mV	2	139.1	228.9	
Oxígeno Disuelto	mg/L	2	5.1	7.5	
Temperatura	°C	2	10.4	10.9	
Turbidez	NTU	2	0.78	1.07	
Físico - químicos					
Clorofila A	mg/L	0	nd	nd	
Color Verdadero	UC	2	5.6	8.4	
Turbidez	NTU	2	1.3	2.6	
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	1	143.3	143.3	
Conductividad	uS/cm	2	40.8	258.9	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2	27	166	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	0	nd	nd	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	nd	nd	
Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	2	4.36	8.51	1
Amoníaco	mg NH3/L	0	nd	nd	
Nitrógeno Total	mg N/L	1	0.2	0.2	
Fósforo Total	mg P/L	2	0.017	0.025	
Sulfuro	mgS2-/l	0	nd	nd	
DBO5	mg/L	0	nd	nd	
Aceites y Grasas	mg/L	0	nd	nd	
Cianuro Libre	mg/L	0	nd	nd	
Fenoles	mg/L	0	nd	nd	
Bromuro	mg/L	0	nd	nd	
Cloruro	mg/L	2	0.055	0.503	
Fluoruro	mg/L	1	0.091	0.091	
Nitritos, (como N)	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos, (como N)	mg/L	1	0.027	0.027	
Nitritos. NO2-	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos. NO3-	mg/L	1	0.117	0.117	
Fosfato	mg/L	0	nd	nd	
Sulfato	mg/L	2	3.91	23.41	

nd = no detectado;

Como se puede observar, no se detectaron valores de clorofila A, sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente total, amoniaco, sulfuro, DBO5, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, bromuro, nitritos, ni fosfatos. El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M27.

La Figura 4.2 muestra las concentraciones de alcalinidad, conductividad, y sólidos totales disueltos registrados en las lagunas bajo análisis. Como se puede observar, hay una tendencia a disminuir los valores de sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica conforme se disminuye el valor del pH. Esto fue notado también en las aguas de Categoría 1-A1 y Categoría 3. La alcalinidad solo fue detectada en M29.

Figura 4.2 Alcalinidad total, STD (mg/L), Conductividad (uS/cm) y pH



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 varían entre 38.8 y 280.6 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 40.8 y 258.9 µS/cm.

Asimismo, las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.65. Las concentraciones de sólidos totales disueltos variaron entre 27 y 166 mg/L. No se detectaron sólidos totales en suspensión.

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitritos se presentaron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio, mientras que los nitratos solo se registraron en M29. Por otro lado, las

concentraciones de sulfato varían entre 3.91 y 23.41 mg/L. Los sulfatos fueron el anión predomínate en M27.

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

Las concentraciones de plomo total 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.

Figura 4.3 Metales que exceden los ECA para la Categoría 4

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

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	1	0.5	0.5	1	0.292	0.292
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	1	0.00209	0.00209	0	nd	nd
Bario	mg/L	2	0.0055	0.0072	2	0.0045	0.0059
Berilio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bismuto	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Boro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cadmio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Calcio	mg/L	2	0.526	60.711	2	0.51	54.2
Cerio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cesio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	1	0.00039	0.00039	1	0.00028	0.00028
Cobre	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	2	0.0041	0.1766	2	0.004	0.1601
Fósforo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Galio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Germanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hafnio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hierro	mg/L	2	0.0049	0.6323	2	0.0045	0.0787
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	2	0.144	3.166	2	0.125	3.141
Manganeso	mg/L	2	0.00213	0.01482	2	0.00073	0.01476
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	1	0.0044	0.0044	1	0.0028	0.0028
Potasio	mg/L	2	0.27	0.34	0	nd	nd
Rubidio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	2	2.65	4.91	2	1.41	4.82
Silicio	mg/L	2	1.24	2.3	2	0.66	2.25
Sodio	mg/L	2	0.077	0.423	1	0.402	0.402
Talio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Tantalio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Teluro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Thorio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Titanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Uranio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Vanadio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Zinc	mg/L	1	0.0168	0.0168	1	0.0153	0.0153
Zirconio	mg/L	0	nd	nd	0	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 programaron dos muestras de pasivos ambientales: PA-01 y PA-02. 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 (Decreto Supremo N°010-2010-MINAM). En el caso del punto PA-02 este se encontró seco. La Tabla A.4 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio de la muestra PA-01. Al respecto, se puede indicar lo siguiente:

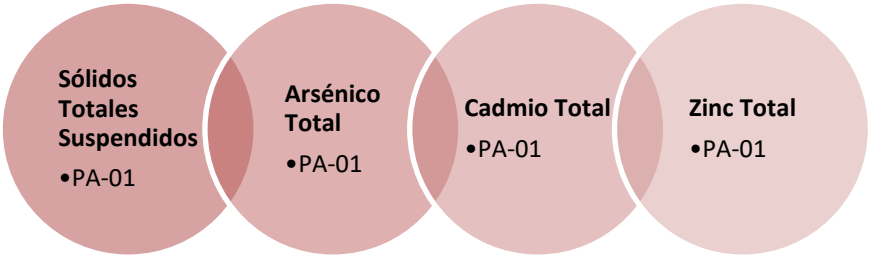
- El pH de las aguas, tanto registrado en campo como medido en laboratorio, se presentó cercano al valor neutro (6.78 en campo y 6.25 en laboratorio).
- Los sólidos totales en suspensión excedieron los LMP.
- La muestra PA-01 registró un valor moderado de alcalinidad (124.5 mg CaCO3/L), mientras que la conductividad eléctrica registró un valor de 604 µS/cm en laboratorio y 651 µS/cm en campo. En cuanto a los sólidos totales disueltos, estos registraron un valor de 451 mg/L, manteniendo una razón de proporcionalidad con respecto a la conductividad eléctrica de 0.75.
- Se detectaron los metales aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, calcio, cerio, cesio, cobalto, cobre, estroncio, galio, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, plata, plomo, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio, talio, uranio (solo en PA-01) y zinc.
- Las concentraciones de arsénico, cadmio y zinc total en PA-01 excedieron los LMP de comparación (véase Tabla 4.9).

Tabla 4.9 Resultados de parámetros regulados por LMP minero metalúrgicos en Pasivos ambientales

Parámetro	Unidad	LMP en cualquier momento	PA-01
pH (Laboratorio)	Unidades pH	6.0 - 9.0	6.25
pH (campo)	Unidades pH	6.0 - 9.0	6.78
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	50	58
Aceites y Grasas	mg/L	20	nd
Cianuro Total	mg/L	1	nd
Arsénico Total (As)	mg/L	0.1	0.10844
Cadmio Total (Cd)	mg/L	0.05	0.09114
Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	nd
Cobre Total (Cu)	mg/L	0.5	0.28427
Hierro Disuelto (Fe)	mg/L	2	0.0353
Plomo Total (Pb)	mg/L	0.2	0.0477
Mercurio Total (Hg)	mg/L	0.002	nd
Zinc Total (Zn)	mg/L	1.5	16.3524

nd = no detectado

Figura 4.4 Parámetros físico – químicos y metales que exceden los LMP Minero Metalúrgicos en Pasivos Ambientales



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 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	2.422	0.002	0.014	0.006	0.229	0.026	2.409	0.090	0.017	0.011	0.000
M2	0.044	0.000	0.000	0.001	0.077	0.001	0.016	0.011	0.012	0.011	0.010
M29	2.773	0.090	0.014	0.005	0.487	0.002	2.710	0.257	0.000	0.017	0.000
M27	0.000	0.000	0.002	0.000	0.081	0.000	0.026	0.010	0.000	0.000	0.032
PA-01	2.490	0.000	0.024	0.003	4.574	0.006	6.397	0.312	0.000	0.010	0.000

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 4 de las 5 muestras, variando desde el 90% hasta el 95% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 93%. En el caso de la muestra M27 el catión predominante fue el aluminio, seguido del calcio. De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 88% de la carga aniónica total (CAT) en 3 de 5 muestras de agua. En 2 puntos el anión predominante es el sulfato con un promedio de 81% de la CAT.

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:

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	6.90	121.20	247.7	187.0	Ca	HCO3	Tipo I
M28	7.56	148.90	270.0	190.0	Ca	HCO3	Tipo I
M29	8.51	143.30	258.9	166.0	Ca	HCO3	Tipo I
M27	4.36	0.00	40.8	27.0	Ca-Al	SO4	Tipo IV
PA-01	6.25	124.50	604.0	451.0	Ca	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:

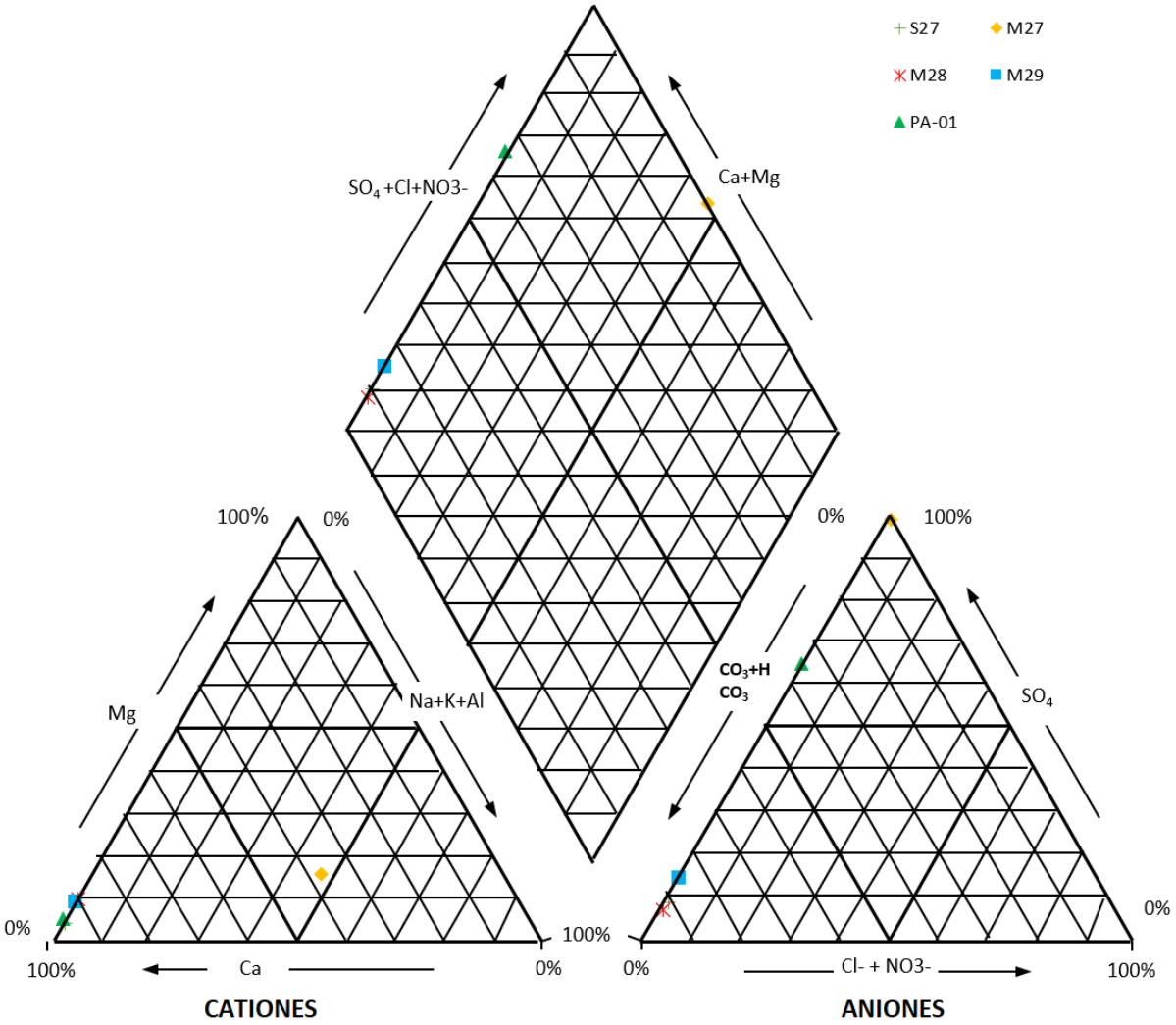
- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las S27, M28, M29. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (166 a 187 mg/L), una alcalinidad moderada (121 a 149 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.9 a 8.51). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo III: Sulfatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra PA-01 también muestra el mismo grupo hidroquímico aunque sus característica físicoquímicas son diferentes a las aguas Tipo III encontradas en otra zona, ya que muestra una elevada concentración de STD y conductividad eléctrica. Esto se debería a que el agua procede de un pasivo ambiental remediado.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en M27. Estas aguas están caracterizadas por presentar una baja concentración de STD (<30 mg/L), una alcalinidad nula y un pH ácido (4.36) pero el catión no está claramente definido o es un catión que no es usualmente estándar como el aluminio. En M27 el aluminio representa el 48% y es seguido del catión calcio con 37%.

La distribución de los tipos de agua mencionados líneas arriba es presentada en el Mapa 4.1 y Figura 4.5.

Figura 4.5 Clasificación hidroquímica

Aguas Bicarbonatadas	Aguas Sulfatadas	
Tipo I: Bicarbonatadas cálcicas	Tipo III: Sulfatadas Cálcicas	Tipo IV: Sulfatadas Mixtas
b) S27, M28, M29	PA-01	M27

Figura 4.6 Diagrama Piper



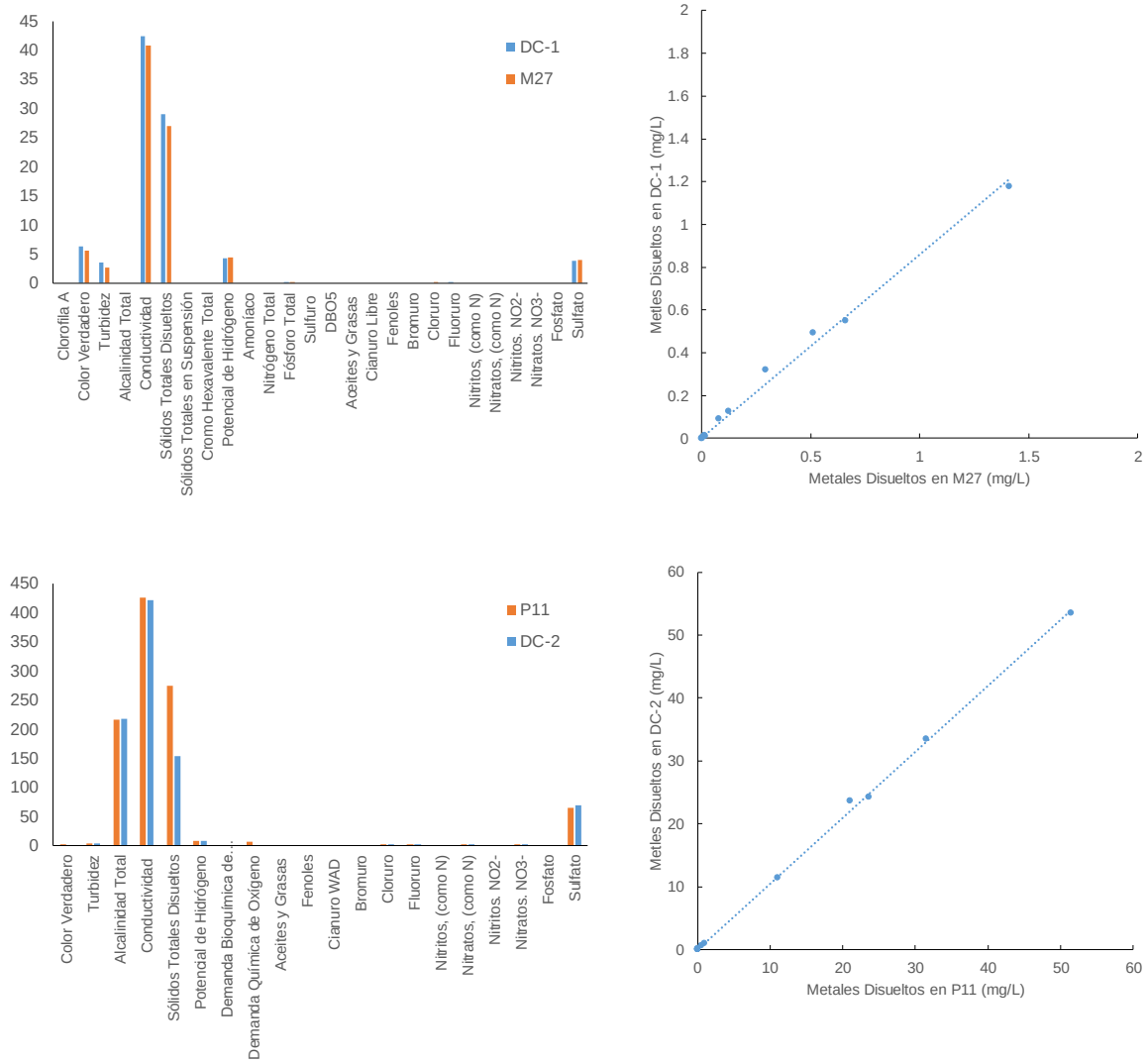
Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.6) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la 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.

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 M29) y agua subterránea (DC-2 duplicado de P11) son presentados en las tablas A.5, A.6 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 ultra pura (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 de las muestras.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a esta muestra son presentados en las tablas A.7. Como se puede observar los parámetros analizados han sido reportados como no detectados, excepto el calcio, sílice, silicio y sodio total y disuelto en el blanco de campo 2. Estos metales son los más abundantes y el valor detectado representaría un error marginal de precisión en el proceso analítico mas no una contaminación durante el transporte, almacenamiento o análisis de laboratorio, lo cual valida la confiabilidad del proceso.

5.2.2 Blanco viajero

La muestra etiquetada como blanco viajero es agua ultra pura (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.7. Los resultados muestran que tal como se esperaba, con excepción del sulfato en muy baja tasa, no se detectó 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	2.69896	2.5268	-0.1722	**-3.3%**
M28	3.23989	3.0433	-0.1966	**-3.1%**
M29	3.37402	2.9849	-0.3891	**-6.1%**
M27	0.08292	0.1118	**0.0289**	14.8%
PA-01	7.09706	6.7197	-0.3774	**-2.7%**

Como se puede observar, todos los puntos cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS o por la APHA. Como un control adicional se ha verificado que los resultados se encuentren dentro del rango histórico reportado en los últimos 10 años.

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 0.64. 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.

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:

- Ninguno de los parámetros fisicoquímicas detectados en S27 excedió los ECA para las categorías 3 y 4.
- Ninguno de los metales detectados en S27 excedió los ECA para las categorías 3 y 4.
- Todos los parámetros microbiológicos medidos en S27 se encontraron por debajo del límite de detección (no detectados).

Aguas Categoría 3:

- Ninguno de los metales detectados en M28 excedió los ECA para las categorías 3 y 4.
- Los coliformes fecales fueron detectados en M28, pero con valor de 2 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de enterococos fecales, E. Coli, ni huevos de helmintos

Aguas Categoría 4:

- El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en el punto 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 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.

Pasivos ambientales.

- El pH de PA-01 tanto registrado en campo como medido en laboratorio, se presentó cercano al valor neutro (6.78 en campo y 6.25 en laboratorio). Los sólidos totales en suspensión excedieron los LMP. Las concentraciones de arsénico, cadmio y zinc total en PA-01 excedieron los LMP de comparación (véase Tabla 4.9).

Con base en los contenidos observados de los iones principales, los tipos químicos de agua predominantes en la zona son los siguientes:

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las S27, M28, M29. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (166 a 187 mg/L), una alcalinidad moderada (121 a 149 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.9 a 8.51). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo III: Sulfatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra PA-01 también muestra el mismo grupo hidroquímico aunque sus característica físicoquímicas son diferentes a las aguas Tipo III encontradas en otra zona, ya que muestra una elevada concentración de STD y conductividad eléctrica. Esto se debería a que el agua procede de un pasivo ambiental remediado.

- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en M27. Estas aguas están caracterizadas por presentar una baja concentración de STD (<30 mg/L), una alcalinidad nula y un pH ácido (4.36) pero el catión no está claramente definido o es un catión que no es usualmente estándar como el aluminio. En M27 el aluminio representa el 48% y es seguido del catión calcio con 37%.

En base a los controles de calidad aplicados, se puede indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento y transporte no han generado 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, aunque es necesario que el laboratorio de análisis presente su propio balance iónico junto con los resultados emitidos para de esa manera cerrar su proceso.

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