PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2020

INFORME ZONA III

Revisión D

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, ABRIL 2021

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**	**11**
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	11
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	11
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	12
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	13
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3 y 4	14
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	14
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	15
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	16
4.3	Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4	17
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos	17
4.3.2	Inorgánicos (Metales)	18
4.3.3	Microbiológicos y parasitológicos	20
4.4	Evaluación Hidroquímica	20
5	**CONTROL DE CALIDAD**	**24**
5.1	Duplicado de muestra	24
5.2	Blancos	25
5.2.1	Blanco de campo	25
5.2.2	Blanco viajero	25
5.3	Control de calidad de los resultados de laboratorio	25
5.3.1	Balance iónico	25
5.3.2	Revisión cruzada de parámetros	26

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 28

7 REFERENCIAS 29

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 9
Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio 10
Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 (S27) 11
Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1 (S27) 12
Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1 13
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 (M28) 14
Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3 y 4 (M28) 15
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 y 4 (M28) 16
Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4 17
Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4 19
Tabla 4.9 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 22
Tabla 4.10 Iones principales y tipos de agua 22
Tabla 5.1 Criterios de análisis de balance iónico 26
Tabla 5.2 Balance iónico 26

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo 7
Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4 18
Figura 4.2 Metales que exceden los ECA para la Categoría 4 19
Figura 4.3 Distribución de carga catiónica en los puntos de monitoreo 21
Figura 4.4 Distribución de carga aniónica en los puntos de monitoreo 21
Figura 4.5 Clasificación hidroquímica 22
Figura 4.6 Diagrama Piper 23

Figura 5.1 Comparación de muestra duplicado 24

LISTA DE MAPAS

Mapa 1.1 Mapa de ubicación del proyecto
Mapa 2.1 Mapa de ubicación de puntos de monitoreo con toma de muestra
Mapa 2.2 Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de solo parámetros de campo
Mapa 4.1 Mapa de tipos químicos de agua

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Resultados de análisis de laboratorio
Anexo B Memoria fotográfica
Anexo C Actas de participación
Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo
Anexo E Fichas de información de campo
Anexo F Registros de aforo
Anexo G Cadenas de Custodia
Anexo H Informes de ensayo de laboratorio

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 2020. El monitoreo fue ejecutado el 02 de diciembre de 2020. Las áreas de trabajo incluyeron las zonas altas de 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

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

1. Gilberto Zelada Arce, presidente de la JASS de La Chorrera participó en el monitoreo de agua el miércoles 02 de diciembre.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Manuel Salazar Llanos - Caserío Sogorón Alto, quien participó en el monitoreo de agua el 02 de diciembre.

El Anexo C presenta las actas de participación ciudadana debidamente firmadas.

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. El Anexo D presenta las fichas de identificación de puntos de monitoreo.

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
S27	796610	9229793	3853	ACD en La Chorrera	1-A1	Si
M28	796560	9230813	3714	Qda. La Chorrera	3	Si
M27	795918	9229745	3779	Laguna Lipiac	4-E1	Si
M29	794866	9231666	3778	Laguna Alforjacocha	4-E1	Si
PA01	798100	9229936	3787	Pasivo ambiental en Los Sartenes	-	No

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

PA-01 no fue monitoreado por indicaciones del equipo de relaciones comunitarias.

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	9229712	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 fue posible efectuar este punto por no contarse con licencia social de acceso.

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. El Anexo E presenta las fichas de recojo de parámetros in-situ.

Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
M28	8.13	234.0	7.42	10.1	3.42
M29	8.64	253.0	7.72	10.5	0.85
M27	4.16	40.7	5.82	12.1	1.47
S27	7.27	282.0	7.87	10.4	0.58

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. La Tabla 3.2 presenta los resultados de los aforos realizados. El Anexo F presenta los formatos de recojo de información de aforos en campo.

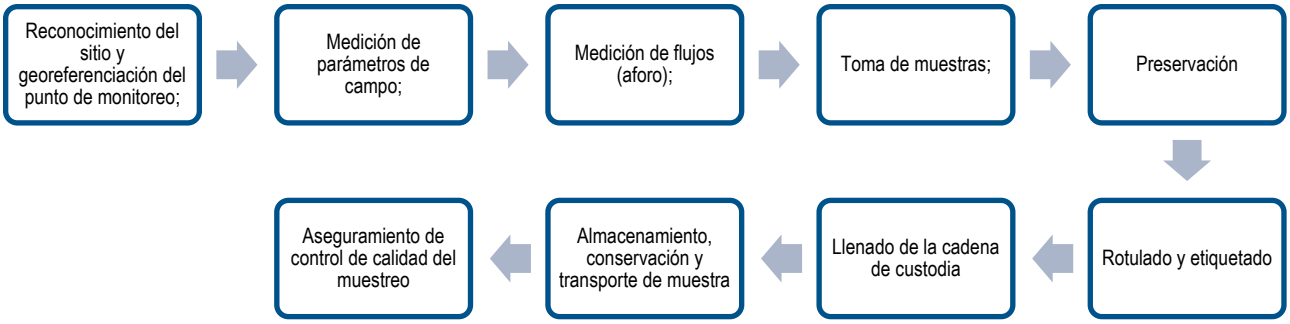
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Comentarios
M28	58.73	
M29	-	Laguna
M27	-	Laguna
S27	-	Reservorio cerrado

3.1 Muestreo para el análisis de laboratorio

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.

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 G presenta las cadenas de custodia

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	Asub	BK
Aceites y Grasas	x	x	x	x	
Alcalinidad Total	x	x	x	x	
Amoniaco		x	x		
Bromuro, Br-	x	x	x	x	x
Cianuro Total	x				
Cianuro Wad		x		x	
Cianuro Libre		x	x		
Clorofila A			x		
Cloruros. Cl-	x	x	x	x	x
Color Verdadero	x	x	x	x	
Conductividad	x	x	x	x	

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	Asub	BK
Cromo Hexavalente		x	x		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	x	x	x	x	
Demanda Química de Oxígeno	x	x		x	
Detergentes Aniónicos		x			
Dureza Total	x				
Fenoles	x	x	x	x	
Fluoruros. F-	x	x	x	x	x
Fósforo Total	x	x	x		
Fosfatos, PO4-3	x	x	x	x	x
Nitratos. NO3-	x	x	x	x	x
Nitritos. NO2-	x	x	x	x	x
Nitrógeno Amoniacal	x				
Nitrógeno Total			x		
pH	x	x	x	x	
Sólidos Totales Disueltos	x	x	x	x	
Sólidos Totales Suspendidos		x	x		
Sulfatos. SO4-2	x	x	x	x	x
Sulfuros		x	x		
Turbidez	x	x	x	x	
Metales disueltos	x	x	x	x	x
Metales totales	x	x	x	x	x
Coliformes Fecales o Termotolerantes	x	x	x	x	
Coliformes totales	x				
Enterococos intestinales	x	x			
Escherichia coli	x				
Vibrio cholerae	x				
Microcistina LR	x				
Formas Parasitarias	x				
Huevos de Helmintos		x			
Organismos de Vida Libre	x				

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 H. 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
M28	MA2023340	2/12/2020	08:30
M29	MA2023335	2/12/2020	10:00
M27	MA2023335	2/12/2020	11:30
S27	MA2023333	2/12/2020	12:30

Adicionalmente se analizaron 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 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 (S27). Como se puede observar, no se detectaron valores de color verdadero, fósforo total, aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), DQO, fenoles, bromuros, fluoruros, nitritos, ni fosfatos en el punto de Categoría 1-A1 (S27). La Tabla A.1 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio. Ningún parámetro fisicoquímico excedió los ECAs para la categoría.

Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 (S27)

Parámetro	Unidad	Valor
Color Verdadero	UC	nd
Turbidez	NTU	0.5
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	123.8
Dureza Total	mg CaCO3/L	180.7
Conductividad	uS/cm	289.6
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	166
Potencial de Hidrógeno (pH).	pH	7.69
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	0.04
Fósforo Total	mg P/L	nd
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	nd
Aceites y Grasas	mg/L	nd
Cianuro total	mg/L	nd
Fenoles	mg/L	nd
Turbidez (campo)	NTU	0.58
Conductividad (campo)	uS/cm	282
Temperatura (campo)	°C	10.4
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	7.27
Medición de Caudal (campo)	m3/s	--
Oxígeno Disuelto. (campo)	mg/L	7.87
Bromuro	mg/L	nd
Cloruro	mg/L	3.298
Fluoruro	mg/L	nd
Nitrito (como N)	mg/L	nd
Nitrato (como N)	mg/L	0.532
Nitrito	mg/L	nd

Parámetro	Unidad	Valor
Nitrato	mg/L	2.353
Fosfato	mg/L	nd
Sulfato	mg/L	50.3

nd: no detectado

Existe buena concordancia entre el valor de conductividad eléctrica registrado en campo (282 µS/cm) y el correspondiente resultado de laboratorio (289.6 µS/cm). El pH mostró concordancia entre el valor medido en campo (7.27) y laboratorio (7.69). La concentración de STD medida en laboratorio guarda una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón de 0.57. El agua es considerada dura (dureza > 180 mg/L).

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). Las muestras de agua en el área exhiben la presencia de diversos metales: bario, calcio, estroncio, germanio, hierro, magnesio, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio y zinc. Ningún metal detectado excede los ECAs para la categoría.

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

Parámetro	Unidad	Metales Totales	Metales Disueltos
Aluminio	mg/L	nd	nd
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd
Bario	mg/L	0.006	0.0052
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	59.061	58.978
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	0.0926	0.0878
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	0.0014	0.0014
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	0.002	nd
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	1.435	1.273
Manganeso	mg/L	nd	nd
Mercurio	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Totales	Metales Disueltos
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	0.79	0.77
Rubidio	mg/L	0.002	0.0019
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	6.65	6.21
Silicio	mg/L	3.11	2.9
Sodio	mg/L	0.666	0.61
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
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0262	0.0254
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. No se detectó la presencia de ningún parámetro monitoreado.

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

Parámetro	Unidad	Valor
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
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	0

nd = no detectado

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3 y 4

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 (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 y 4 (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 STS, cromo hexavalente, fósforo total, sulfuro, DBO5, DQO, SAAM, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuro ni fosfatos. Ningún parámetro fisicoquímico excedió los ECAs aplicados.

Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 (M28)

Parámetro	Unidad	Valor
Color Verdadero	UC	6.3
Turbidez	NTU	2.1
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	118.8
Conductividad	uS/cm	238.8
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	138
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	nd
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd
Potencial de Hidrógeno	pH	7.84
Amoníaco	mg NH3/L	0.039
Fósforo Total	mg P/L	nd
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
Turbidez (campo)	NTU	3.42
Conductividad (campo)	uS/cm	234
Temperatura (campo)	°C	10.1
Potencial de Hidrógeno. (campo)	pH	8.13
Medición de Caudal (campo)	m3/s	0.05873
Oxígeno Disuelto. (campo)	mg/L	7.42
Bromuro	mg/L	nd
Cloruro	mg/L	2.081

Parámetro	Unidad	Valor
Fluoruro	mg/L	0.05
Nitrito (como N)	mg/L	0.008
Nitrato (como N)	mg/L	0.696
Nitrito	mg/L	0.026
Nitrato	mg/L	3.081
Fosfato	mg/L	nd
Sulfato	mg/L	22.82

nd = no detectado

Existe buena concordancia entre el valor de conductividad eléctrica registrado en campo (234 µS/cm) y el correspondiente resultado de laboratorio (238.8 µS/cm). El pH mostró concordancia entre el valor medido en campo (8.13) y laboratorio (7.84) aunque el valor de campo se mostró ligeramente superior. La concentración de STD medida en laboratorio guarda una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón de 0.58.

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 y 4 (M28).

Se detectó la presencia de aluminio, bario, calcio, estroncio, germanio, hierro, magnesio, manganeso, níquel, plomo, potasio, sílice, silicio, sodio, titanio, uranio y zinc. Ningún metal detectado excedió los ECAs aplicados.

Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3 y 4 (M28)

Parámetro	Unidad	Metales totales	Metales disueltos
Aluminio	mg/L	0.153	0.065
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd
Bario	mg/L	0.014	0.0111
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	47.177	45.372
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	0.169	0.1472
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	0.001	0.001
Hafnio	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales totales	Metales disueltos
Hierro	mg/L	0.2516	0.1588
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	3.202	2.836
Manganeso	mg/L	0.01604	0.01172
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd
Níquel	mg/L	0.0007	nd
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	0.001	0.0007
Potasio	mg/L	0.42	0.41
Rubidio	mg/L	nd	nd
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	4.1	3.94
Silicio	mg/L	1.92	1.84
Sodio	mg/L	1.594	1.535
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	0.0019	0.0013
Uranio	mg/L	0.000115	0.000098
Vanadio	mg/L	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0574	0.0556
Zirconio	mg/L	nd	nd

nd: no detectado

El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.187 a 47.177 mg/L en su forma total. Le sigue en importancia sílice, silicio, magnesio, potasio, aluminio y sodio. Es notorio el incremento de las concentraciones de calcio y magnesio conforme las aguas discurren hacia aguas abajo.

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 y 4.

Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 y 4 (M28)

Parámetro	Unidad	Valor
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	4
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	1.8
Detección y/o cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	0

nd = no detectado

Los coliformes fecales fueron detectados en M28, pero con un valor de 4 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 y 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 (M29) y Lípiac (M27).

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

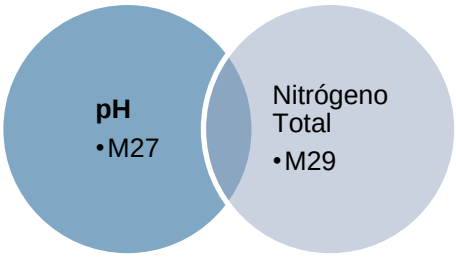
Parámetro	Unidad	M29	M27	Excede ECA
Clorofila A	mg/L	nd	nd	
Color Verdadero	UC	7	5.6	
Turbidez	NTU	0.5	2.5	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	117.3	nd	
Conductividad	uS/cm	259.4	41.3	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	150	24	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	nd	nd	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd	nd	
Potencial de Hidrógeno	pH	8.44	4.07	1
Amoníaco	mg NH3/L	0.047	0.046	
Nitrógeno Total	mg N/L	0.55	0.3	1
Fósforo Total	mg P/L	nd	nd	
Sulfuro	mgS2-/l	nd	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd	nd	
Aceites y Grasas	mg/L	nd	nd	
Cianuro Libre	mg/L	nd	nd	
Fenoles	mg/L	nd	nd	
Turbidez (campo)	NTU	0.85	1.47	
Conductividad (campo)	uS/cm	253	40.7	
Temperatura (campo)	°C	10.5	12.1	
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	8.64	4.16	1
Oxígeno Disuelto (campo).	mg/L	7.72	5.82	
Bromuro	mg/L	nd	nd	
Cloruro	mg/L	1.557	0.058	
Fluoruro	mg/L	0.092	nd	
Nitrito (como N)	mg/L	nd	nd	
Nitrato (como N)	mg/L	0.504	0.015	
Nitrito	mg/L	nd	nd	

Parámetro	Unidad	M29	M27	Excede ECA
Nitrato	mg/L	2.229	0.064	
Fosfato	mg/L	nd	nd	
Sulfato	mg/L	43.03	6.51	

Notas: nd = no detectado; color celeste muestra parámetros que presentan al menos una excedencia a los ECA para la Categoría 4.

Como se puede observar, no se detectaron valores de clorofila A, STS, cromo hexavalente total, fósforo total, sulfuro, DBO5, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, bromuro, nitrito, ni fosfatos 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 este punto se encuentra alrededor del área mineralizada. El nitrógeno total excedió los ECA para la categoría 4 en M29 (laguna Alforjacocha). Esta ligera excedencia podría deberse a los restos de comida balanceada o excremento de los peces que la población local cría en la laguna o a procesos de eutrofización Coincidentemente, los valores de amoniaco y nitratos son mayores en Alforjacocha que en otras lagunas monitoreadas (aunque no llegan a exceder los ECA correspondientes).

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 fueron 253 µS/cm y 40.7 µS/cm (M29+ y 27 respectivamente), mientras que los resultados de laboratorio fueron 259.4 µS/cm y 41.3 µS/cm respectivamente. Asimismo, las concentraciones de STD medidas en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.59.

En cuanto los nutrientes, los nitratos se registraron en todos los puntos. Las concentraciones de amoniaco fueron en general bajas (de 0.47 y 0.046 mg NH_3/L). Las concentraciones de sulfato fueron 43.03 mg/L para M29 y 6.51 mg/L para M27 siendo el anión predomínate en M27. Los cloruros se detectaron en los ambos puntos, mientras que los fluoruros se detectaron solo en M29.

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, 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.

Figura 4.2 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	M29			M27		
		Metales totales	Metales disueltos	Excede ECA	Metales totales	Metales disueltos	Excede ECA
Aluminio	mg/L	nd	nd		0.453	0.451	
Antimonio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Arsénico	mg/L	nd	nd		0.00135	nd	
Bario	mg/L	0.0088	0.0076		0.0076	0.0069	
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	53.401	51.299		1.03	0.99	
Cerio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Cesio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Cobalto	mg/L	nd	nd		0.00058	0.00055	
Cobre	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Cromo	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Estaño	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Estroncio	mg/L	0.1732	0.1561		0.0042	0.0039	
Fósforo	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Galio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Germanio	mg/L	0.0013	0.0013		0.0007	0.0007	
Hafnio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Hierro	mg/L	0.0057	0.005		0.7465	0.6671	
Lantano	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Litio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Lutecio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Magnesio	mg/L	3.137	3.032		0.197	0.172	
Manganeso	mg/L	0.001	0.00074		0.02027	0.01887	
Mercurio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Molibdeno	mg/L	0.00023	0.00015		nd	nd	
Niobio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Níquel	mg/L	0.0007	nd		0.0009	0.0008	
Plata	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Plomo	mg/L	nd	nd		0.0045	0.0045	1
Potasio	mg/L	0.36	0.36		0.31	0.3	
Rubidio	mg/L	nd	nd		nd	nd	

Parámetro	Unidad	M29			M27		
		Metales totales	Metales disueltos	Excede ECA	Metales totales	Metales disueltos	Excede ECA
Selenio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Sílice	mg/L	5.83	5.21		2	1.91	
Silicio	mg/L	2.72	2.43		0.94	0.89	
Sodio	mg/L	0.793	0.791		0.155	0.145	
Talio	mg/L	nd	nd		0.00012	0.00011	
Tantalio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Teluro	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Thorio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Titanio	mg/L	0.0007	0.0007		nd	nd	
Uranio	mg/L	0.000119	0.000085		nd	nd	
Vanadio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Wolframio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Yterbio	mg/L	nd	nd		nd	nd	
Zinc	mg/L	0.0322	0.0312		0.0254	0.0246	
Zirconio	mg/L	nd	nd		nd	nd	

Notas: nd = no detectado; color celeste muestra parámetros que presentan al menos una excedencia a los ECA para la Categoría 4.

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 Evaluación Hidroquímica

La Tabla 4.9 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.

El calcio es el catión predominante en 3 de las 4 muestras, variando desde el 88% hasta el 95% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 81%. En el punto restante se tiene una carga mixta. La Figura 4.3 muestra la distribución de la carga catiónica total por punto de monitoreo.

De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 72% de la carga aniónica total (CAT) en 3 de 4 muestras de agua. En 1 puntos el anión predominante es el sulfato con un valor del 98% de la CAT. La Figura 4.4 muestra la distribución de la carga aniónica total por punto de monitoreo.

Figura 4.3 Distribución de carga catiónica en los puntos de monitoreo

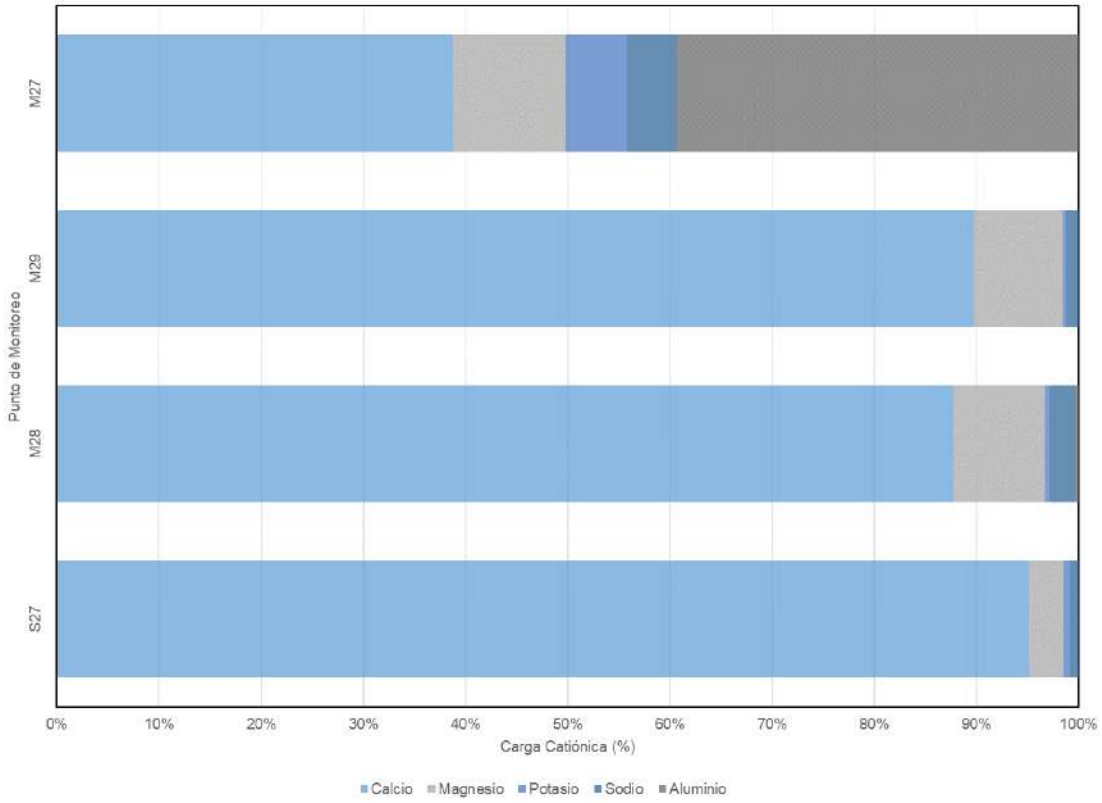


Figura 4.4 Distribución de carga aniónica en los puntos de monitoreo

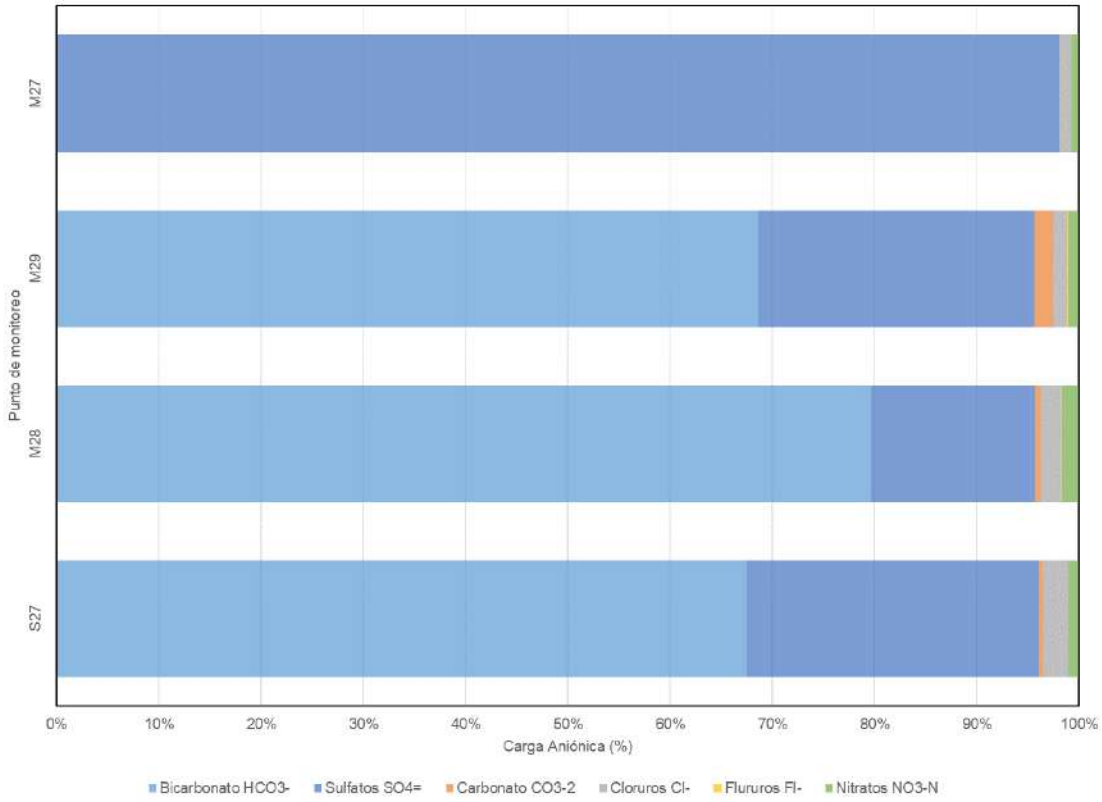


Tabla 4.9 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
S27	2.471	0.005	0.093	0.000	1.047	0.038	2.949	0.104	0.020	0.027	0.000
M28	2.343	0.032	0.059	0.003	0.475	0.050	2.269	0.232	0.010	0.067	0.007
M29	2.243	0.098	0.044	0.005	0.896	0.036	2.565	0.249	0.009	0.034	0.000
M27	0.000	0.000	0.002	0.000	0.135	0.001	0.050	0.014	0.008	0.006	0.050

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).

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 4.10 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	7.69	123.80	289.6	166.0	Ca	HCO3	Tipo I
M28	7.84	118.80	238.8	138.0	Ca	HCO3	Tipo I
M29	8.44	117.30	259.4	150.0	Ca	HCO3	Tipo I
M27	4.07	0.00	41.3	24.0	Ca-Al-Mg	SO4	Tipo V

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, M28, M29. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (138 a 166 mg/L), una alcalinidad moderada (117.3 a 123.8mg CACO3/L) y un pH alcalino (7.69 a 8.44).
- Tipo V: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH ácido (4.07), alcalinidad nula, baja concentración de STD (24 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<50 uS/cm).

Figura 4.5 Clasificación hidroquímica

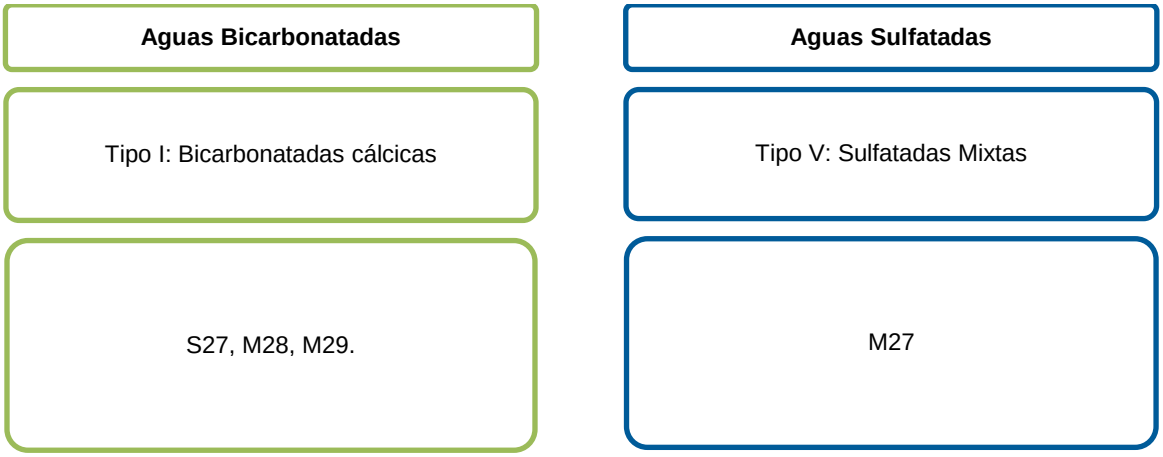
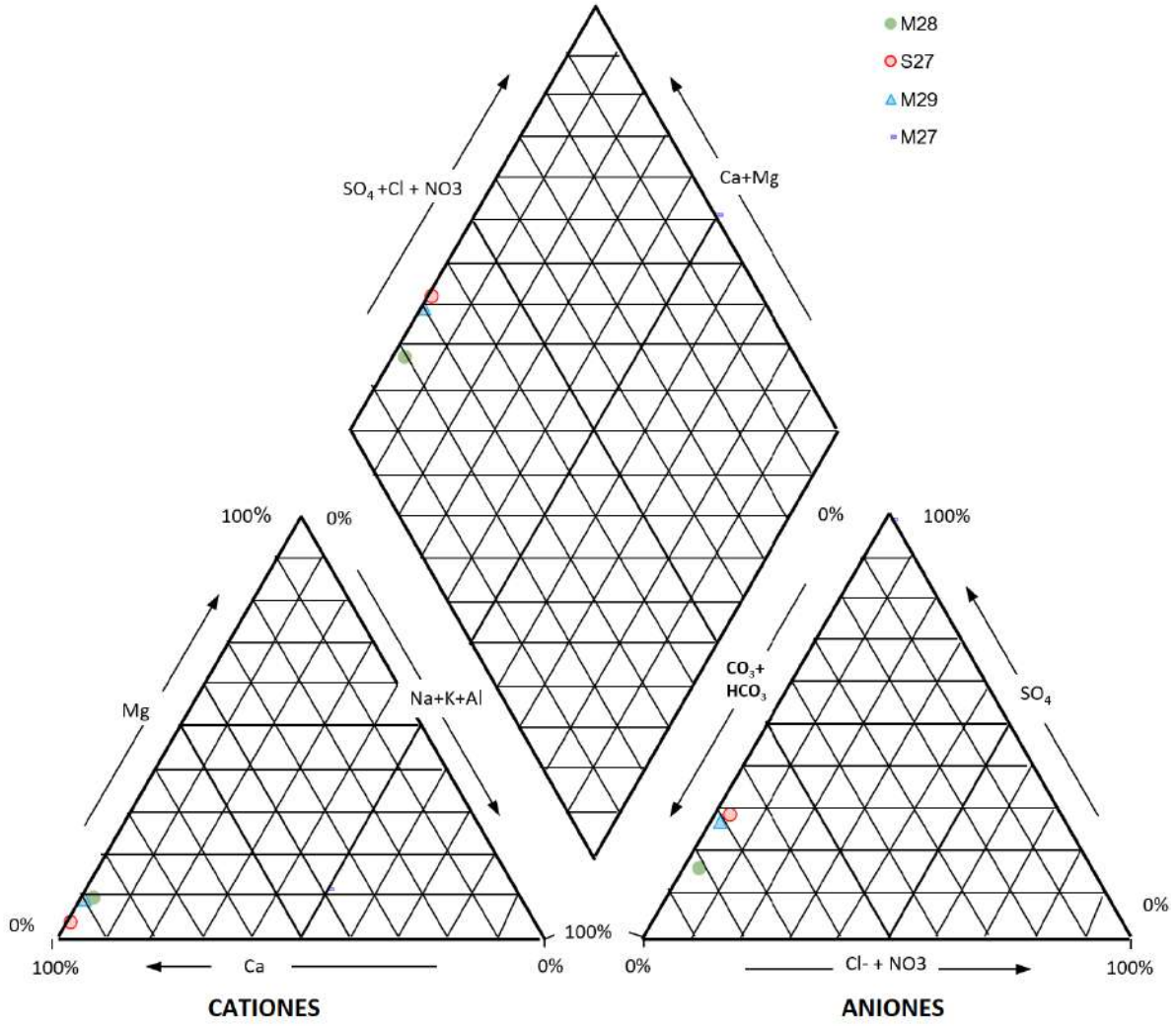


Figura 4.6 Diagrama Piper



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.

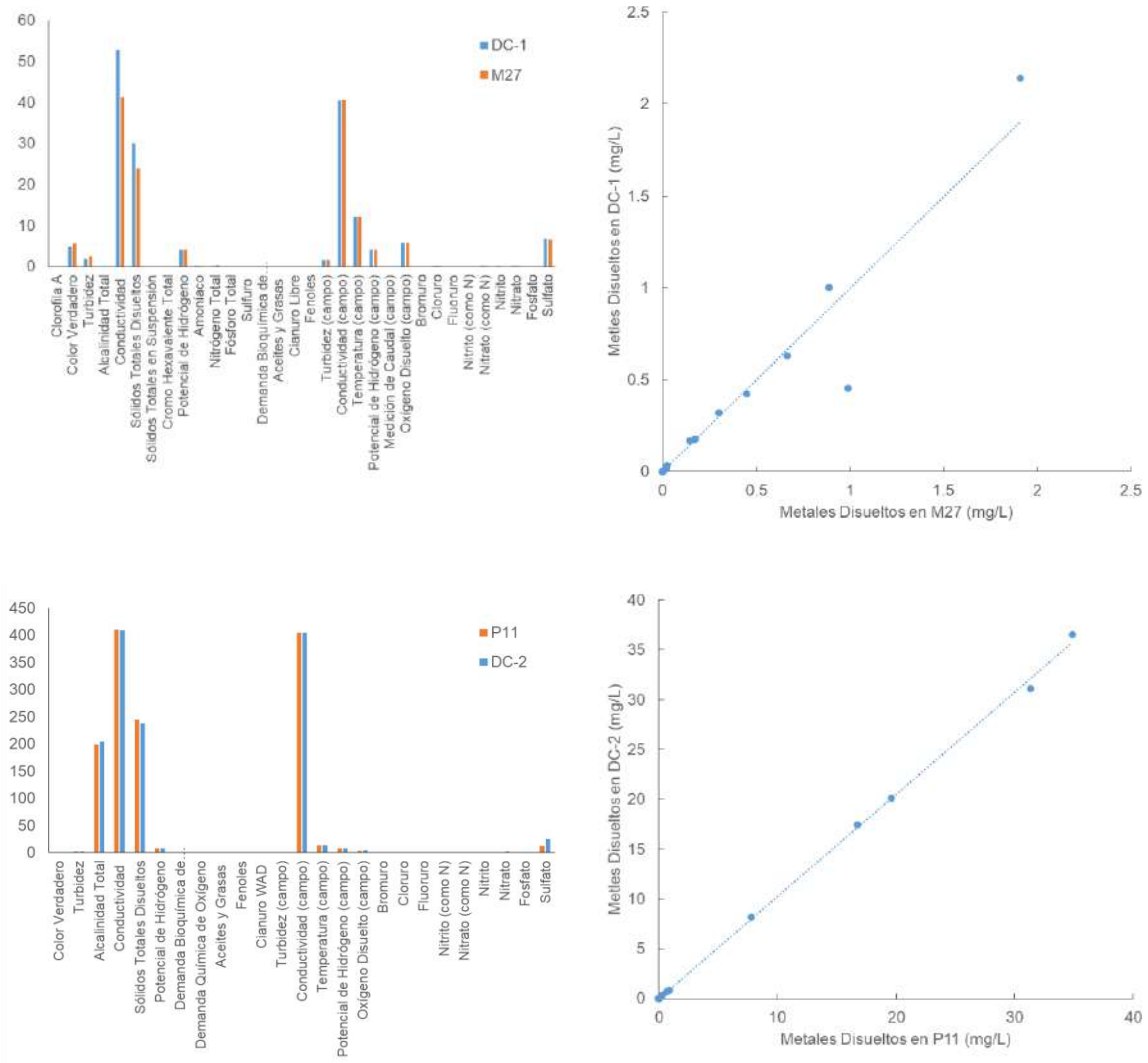
La distribución de los tipos de agua mencionados líneas arriba es presentada en el Mapa 4.1. Las aguas Tipo I se encontraron en las áreas más alejadas de la zona del proyecto. Puede notarse que en general las muestras Tipo II a IV tienen muy bajas concentraciones de STD y pH ácido.

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	3.65368	3.0995	-0.5542	-8.2%
M28	2.96298	2.5855	-0.3775	-6.8%
M29	3.32615	2.8571	-0.4691	-7.6%
M27	0.13815	0.1969	0.0587	17.5%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de M27, cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS, sim embargo este punto cumple con el primer criterio del Standard Method. Debido a lo anterior, los resultados pueden ser considerados como válidos. 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.

Dadas estas condiciones se ha procedido a aceptar los resultados de laboratorio de estos puntos, aunque se recomienda efectuar un seguimiento detallado de los resultados en futuras rondas de monitoreo.

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.

Ningún parámetro evaluado en las aguas de Categoría 1-A1 y Categorías 3 y 4 excedió los respectivos ECA. Solo se encontró excedencias en aguas Categoría 4 (lagunas):

- 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 el valor natural de pH serían consecuencia de la geología de la zona.
- El nitrógeno total excedió los ECA para la categoría 4 en M29 (laguna Alforjacocha). Esta ligera excedencia podría deberse a los restos de comida balanceada o excremento de los peces que la población local cría en la laguna o a procesos de eutrofización Coincidentemente, los valores de amoniaco y nitratos son mayores en Alforjacocha que en otras lagunas monitoreadas (aunque no llegan a exceder los ECA correspondientes).
- 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, M28, M29. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (138 a 166 mg/L), una alcalinidad moderada (117.3 a 123.8mg CACO3/L) y un pH alcalino (7.69 a 8.44).
- Tipo V: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M27. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH ácido (4.07), alcalinidad nula, baja concentración de STD (24 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<50 uS/cm).

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.

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.