PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2020

INFORME ZONA II

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	7
3.2	Control de calidad	8
3.3	Estándares y guías aplicadas	9
3.4	Laboratorio de análisis	10
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)	13
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	14
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	15
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	15
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	17
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	19
4.3	Pasivos ambientales	19
4.4	Evaluación Hidroquímica	19
5	**RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETROS DE CAMPO**	**24**
5.1	Aguas superficiales, Categorías 3 y 4	24
6	**CONTROL DE CALIDAD**	**25**
6.1	Duplicado de muestra	25
6.2	Blancos	26
6.2.1	Blanco de campo	26
6.2.2	Blanco viajero	26
6.3	Control de calidad de los resultados de laboratorio	26
6.3.1	Balance iónico	26
6.3.2	Revisión cruzada de parámetros	27

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 29

8 REFERENCIAS 31

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 11
Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1 13
Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1 14
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 15
Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3 y 4 17
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 y 4 19
Tabla 4.7 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 19
Tabla 4.8 Iones principales y tipos de agua 21
Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4 24
Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico 27
Tabla 6.2 Balance iónico 27

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo 7
Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1 12
Figura 4.2 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3 y 4 16
Figura 4.3 Metales que exceden los ECA para la Categoría 3 y 4 19
Figura 4.4 Distribución de carga catiónica en los puntos de monitoreo 20
Figura 4.5 Distribución de carga aniónica en los puntos de monitoreo 21
Figura 4.6 Clasificación hidroquímica 22
Figura 4.7 Diagrama Piper 23
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado 25

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 en la Zona II fue ejecutado del 28 al 29 de noviembre de 2020. Las áreas de trabajo en la Zona II corresponden a la quebrada Chanche. 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. Los señores Santos Casahuamán Salazar, agente municipal del caserío Santa Rosa de Milpo y Encarnación Chugnas, poblador del caserío de Santa Rosa de Milpo, participaron en el punto de monitoreo de Santa Rosa de Milpo el sábado 28 de noviembre.
2. En el punto de monitoreo de Quengomayo el domingo 29 de noviembre participó el señor Jorge Luis Chuquimango en representación del teniente gobernador de Quengomayo.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Nando Miranda Miranda - Caserío El Punre, quien participó en el monitoreo de agua el día 28 de noviembre.
- Olger Tacilla Alvarado- Caserío El Porvenir, quien participó en el monitoreo de agua el día 29 de noviembre.

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
M14	797447	9228853	3824	ACD escuela Santa Rosa de Milpo	1-A1	Si
S33	800018	9226342	3513	ACD en El Punre	1-A1	Si
M24A	800308	9225830	3002	Qda. Milpo (Chanche)	3 y 4	Si
M26A	801460	9226894	3575	Qda. Quengomayo	3 y 4	Si
M38	798130	9227056	3768	Qda. Quinuacucho	3 y 4	Si
M8	797238	9227678	3789	Qda. Milpo	3 y 4	Si
PA02	797328	9228764	3895	Pasivo ambiental cerrado	-	Sin flujo
PA04	797240	9228804	3930	Afloramiento en cerro Hilorrico	3 y 4	Si

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

No fue posible obtener una muestra en los siguientes casos:

- Punto PA-01. Pasivo ambiental en Los Sartenes (Pasivo # 15 en el listado de Lumina). Se registró los parámetros de campo pero no se tomó muestra.
- 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 flujo.

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
M13	797493	9228747	3820	Manantial en Milpo	3	Sin flujo
M35	798582	9227512	3606	Reservorio Muyo	3 y 4-E1	Si

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

No fue posible evaluar el punto M13 pues se encontró seco.

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)
M14	6.45	246.0	5.92	11.8	1.10
PA-04	3.40	201.0	6.80	15.3	0.5
M8	4.38	28.4	6.70	12.0	10.6
M38	3.78	187.6	6.58	14.1	201
PA-02	Seco				
M26A	7.22	232.0	6.50	11.6	4.13
S33	7.44	321.0	6.80	10.8	2.25
M24A	7.85	193.6	6.75	12.2	6.78
M35	7.75	176.2	8.96	12.7	20.2
M13	Seco	-	-	-	-

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.

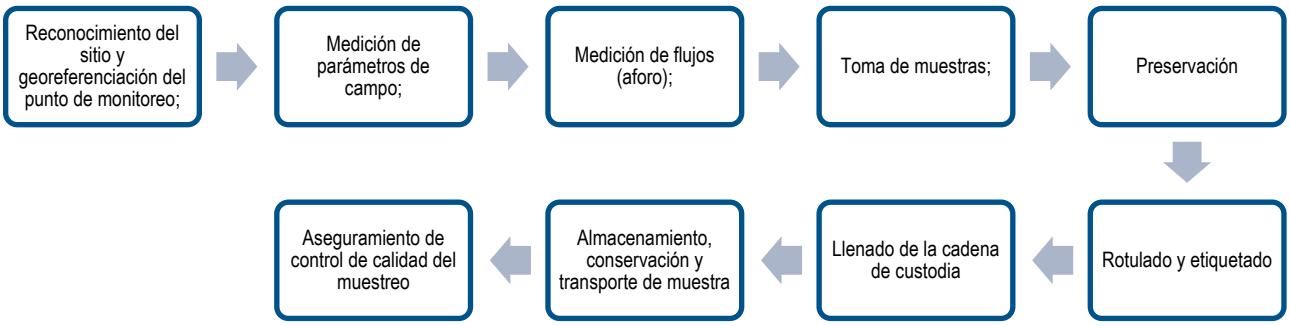
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Comentarios
M35	-	Laguna
PA-04	0.14	
PA-02	-	Seco
M8	92.16	
M38	85.77	
M14	3.34	
M26A	366.52	
M24A	2041.17	
S33	1.98	
M13	-	Seco

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				

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	Asub	BK
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	
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
PA-04	MA2022941	28/11/2020	11:50
M8	MA2022941	28/11/2020	13:30
M38	MA2022941	28/11/2020	13:45
M14	MA2022942	28/11/2020	10:10
M26A	MA2023088	29/11/2020	09:10
M24A	MA2023088	29/11/2020	11:30
S33	MA2023086	29/11/2020	10:30

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 2 puntos con Categoría 1-A1 en la Zona II (véase Tabla 2.1). Se efectuaron ambos puntos programados. Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo. Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno, fenoles, bromuros, fluoruros, nitritos, nitratos, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 1-A1. 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

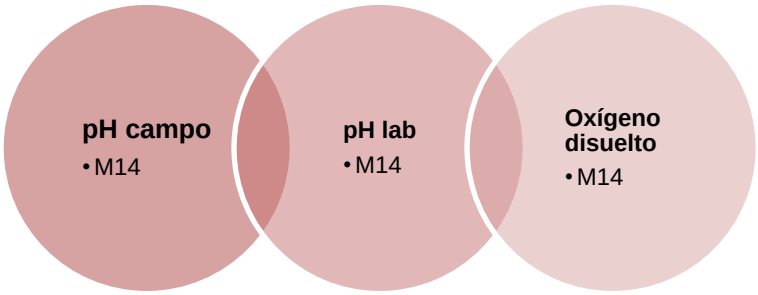
Parámetro	Unidad	M14	S33	Excede ECA
Color Verdadero	UC	nd	10.5	
Turbidez	NTU	0.8	1	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	72.9	171.5	
Dureza Total	mg CaCO3/L	142.7	179.7	
Conductividad	uS/cm	248.1	327	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	141	197	
Potencial de Hidrógeno (pH).	pH	6.45	7.62	1
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	0.039	0.074	
Fósforo Total	mg P/L	nd	0.07	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	nd	nd	
Aceites y Grasas	mg/L	nd	nd	
Cianuro total	mg/L	nd	nd	
Fenoles	mg/L	nd	nd	
Turbidez (campo)	NTU	1.1	2.25	
Conductividad (campo)	uS/cm	246	321	
Temperatura (campo)	°C	11.8	10.8	
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	6.45	7.44	1
Medición de Caudal (campo)	m3/s	0.00334	0.00198	
Oxígeno Disuelto. (campo)	mg/L	5.92	6.8	1
Bromuro	mg/L	nd	nd	
Cloruro	mg/L	0.306	0.912	
Fluoruro	mg/L	nd	nd	
Nitrito (como N)	mg/L	nd	nd	
Nitrato (como N)	mg/L	nd	nd	

Parámetro	Unidad	M14	S33	Excede ECA
Nitrito	mg/L	nd	nd	
Nitrato	mg/L	nd	nd	
Fosfato	mg/L	nd	nd	
Sulfato	mg/L	45.04	14.22	

Notas: nd: no detectado; color amarillo muestra parámetros que presentan al menos una excedencia a los ECA para la Categoría 1-A1.

Existe 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 de 246 y 321 µS/cm (M14 y S33 respectivamente), mientras que los resultados de laboratorio fueron de 248.1 y 327 µS/cm. El pH mostró también mostró una buena concordancia entre los valores medidos en campo (6.45 y 7.62) y laboratorio (6.45 y 7.44).

Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1



El color verdadero, el pH y el oxígeno disuelto excedieron los ECA para la Categoría 1-A1 en M14. Las características de ligera acidez del punto M14 estarían relacionadas con su ubicación al pie del área mineralizada del cerro hilorico, mientras que el oxígeno disuelto solo se presentó ligeramente por debajo del ECA (5.92 mg/L); esto puede deberse a la falta de aireación de estas aguas o a la presencia de algas.

Las concentraciones de STD medidas en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón promedio de 0.59. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD de 141 y 197 mg/L (M14 y S33 respectivamente). La alcalinidad fue clasificada como media a alta, con valores de 72.9 y 171.5 mg/L. Puede notarse que la alcalinidad fue menor en el punto con menor pH (M14) y que este a su vez presentó un menor valor de dureza total, aunque las aguas de ambos puntos fueron clasificadas como duras (entre 121 y 180 mg/L).

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron en general bajas (de 0.039 a 0.074 mg/L en M14 y S33 respectivamente). El sulfato estuvo presente en ambas muestras, aunque sin ser el anión predominante, mientras que los cloruros se detectaron en concentraciones menores que 1 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. Las muestras de agua en el área exhiben la presencia de diversos metales. Los metales que fueron detectados en ambas muestras son: aluminio, bario, calcio, cesio, estroncio, magnesio, manganeso, potasio, sílice, silicio, sodio y zinc. El metal más abundante es el calcio con valores de 47.414 y 60.751 mg/L para M14 y S33 respectivamente. Le sigue en importancia el silicio, magnesio, sodio y potasio. Ningún metal detectado excedió los ECA para la categoría.

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

Parámetro	Unidad	M14		S33	
		Metales totales	Metales disueltos	Metales totales	Metales disueltos
Aluminio	mg/L	0.022	nd	0.031	nd
Antimonio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd	nd	nd
Bario	mg/L	0.0213	0.0208	0.0095	0.0088
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	47.414	46.742	60.754	58.047
Cerio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cesio	mg/L	0.0006	nd	nd	nd
Cobalto	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cobre	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cromo	mg/L	nd	nd	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.0968	0.0951	0.0878	0.0754
Fósforo	mg/L	nd	nd	0.07	nd
Galio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Hierro	mg/L	0.026	nd	nd	nd
Lantano	mg/L	nd	nd	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Magnesio	mg/L	1.193	1.176	2.259	2.082
Manganeso	mg/L	0.00561	0.00554	0.00109	0.001
Mercurio	mg/L	nd	nd	0.00023	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Níquel	mg/L	0.0008	nd	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd	nd	nd
Potasio	mg/L	1.46	1.36	0.3	0.28
Rubidio	mg/L	0.0045	0.0036	nd	nd
Selenio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Sílice	mg/L	7.57	7.45	3.04	2.85

Parámetro	Unidad	M14		S33	
		Metales totales	Metales disueltos	Metales totales	Metales disueltos
Silicio	mg/L	3.54	3.48	1.42	1.33
Sodio	mg/L	0.452	0.319	0.188	0.165
Talio	mg/L	0.00026	nd	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Titanio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Uranio	mg/L	0.000055	nd	0.000272	0.000237
Vanadio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0866	0.0418	0.0086	0.0056
Zirconio	mg/L	nd	nd	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 detectaron coliformes termotolerantes, E. Coli, Vibrio Cholerae, formas parasitarias, Giardia, huevos de helmintos, Quistes y Ooquistes de protozoarios patógenos y no patógenos, copépodos ni rotíferos. Microsistina LR tampoco fue detectada. Los organismos de vida libre estuvieron presentes en ambos puntos de monitoreo en forma de algas y en S33 también en forma de nemátodos y protozoarios excediendo los ECA para la categoría. El punto con mayor presencia de algas fue M14 (110 organismos/L). La presencia de nemátodos, formas parasitarias y larvas de helmintos es muy baja (cerca de cero) y en este punto se requeriría una mayor atención a la limpieza de tanques. La presencia de algas ocurre casi en todos los lugares donde se almacena el agua ya que cuando el agua está estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. La presencia de algas es otro indicador de que es necesario prestar atención a la limpieza de tanques.

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

Parámetro	Unidad	M14	S33	Excede ECA
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	nd	6.8	
Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	nd	nd	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	nd	nd	
Detección de Vibrio Cholerae	en 1 L	Ausencia	Ausencia	
Formas Parasitarias	Organismo/L	0	0	
Giardia duodenalis	Organismo/L	Ausencia	Ausencia	
Larvas De Helminto	Larvas/L	0	0	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Pat.	Organismo/L	0	0	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Pat.	Organismo/L	0	0	
Algas	Organismo/L	110	54	2
Copépodos	Organismo/L	0	0	

Parámetro	Unidad	M14	S33	Excede ECA
Nematodos en todos sus estadios evolutivos	Organismo/L	0	4	1
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	110	88	2
Protozoarios	Organismo/L	0	30	1
Rotíferos	Organismo/L	0	0	
Microcistina-LR	mg/L	nd	nd	

Notas: nd: no detectado; color amarillo muestra parámetros que presentan al menos una excedencia a los ECA para la Categoría 1-A1.

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC la temporada seca del 2020 incluye la toma de muestra en 5 puntos con Categoría 3 (véase Tabla 2.1). Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. La Tabla A.2 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

4.2.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.4 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3. 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 cromo hexavalente, sulfuro, DBO5, SAAM, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuro, fluoruro, nitritos, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 3 y 4.

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

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Color Verdadero	UC	3	8.4	23.2	1
Turbidez	NTU	4	0.9	114	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	2	99	123.6	
Conductividad	uS/cm	5	27.9	236.3	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	16	139	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	1	96	96	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	nd	nd	
Potencial de Hidrógeno	pH	5	3.41	7.98	3
Amoníaco	mg NH3/L	5	0.052	2.429	
Fósforo Total	mg P/L	2	0.06	0.14	2
Sulfuro	mgS2-/l	0	nd	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	1	20.4	20.4	
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/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	

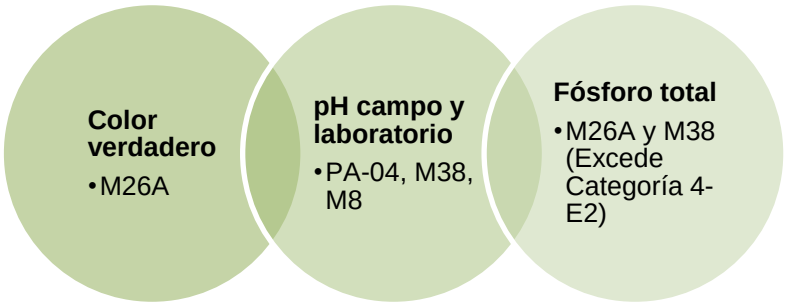
Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Cianuro WAD	mg/L	0	nd	nd	
Turbidez (campo)	NTU	5	0.5	201	
Conductividad (campo)	uS/cm	5	28.4	232	
Temperatura (campo)	°C	5	11.6	15.3	
Potencial de Hidrógeno. (campo)	pH	5	3.4	7.85	3
Medición de Caudal (campo)	m3/s	5	0.00014	2.04117	
Oxígeno Disuelto. (campo)	mg/L	5	6.5	6.8	
Bromuro	mg/L	0	nd	nd	
Cloruro	mg/L	5	0.082	1.156	
Fluoruro	mg/L	0	nd	nd	
Nitrito (como N)	mg/L	0	nd	nd	
Nitrato (como N)	mg/L	4	0.035	0.832	
Nitrito	mg/L	0	nd	nd	
Nitrato	mg/L	4	0.153	3.681	
Fosfato	mg/L	0	nd	nd	
Sulfato	mg/L	5	6.16	46.27	

Notas: nd = no detectado; color verde muestra parámetros que presentan al menos una excedencia a los ECA para las Categorías 3 y 4.

Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 28.4 y 232 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 27.9 y 236.3 µS/cm mostrando en ambos casos concordancia.

Los valores de pH registrados en campo variaron entre 3.4 y 7.85, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 3.41 y 7.98. Los puntos M8, M38 y PA-04 presentaron valores de campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1. Estos puntos se hayan alrededor de zonas mineralizadas lo que explicaría su bajo pH. El fósforo total excedió ligeramente la categoría 4-E2 en los puntos M26A y M38; en los cursos de agua la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes en actividades de terceros y en oportunidades a características del propio suelo. Los valores de color verdadero excedieron ligeramente el ECA para la Categoría 4-E2 en M26A (ver Figura 4.2). Esta excedencia está dentro del margen de incertidumbre.

Figura 4.2 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3 y 4



Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.53. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron

valores de STD entre 16 y 139 mg/L. De manera similar a lo ocurrido con la alcalinidad total y conductividad eléctrica, los menores valores de STD se presentaron en aquellos puntos con pH más ácido y es posible notar que tanto la conductividad como la alcalinidad en general aumentan conforme las aguas discurren hacia aguas abajo. La alcalinidad fue nula en puntos que presentaron un pH ácido y alta en aquellos puntos que presentaron un pH alcalino.

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitratos (como NO_3) variaron de 0.153 a 3.681 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. Las concentraciones de amoniaco fueron en general bajas (de 0.052 a 2.429 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 6.16 y 46.27 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 3 siendo el anión predominante en M8, M38 y PA-04. Las concentraciones de cloruros varían de 0.082 a 1.156 mg/L y fue detectado en todos los puntos. Los fluoruros fueron detectados en M8. 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. Aluminio, bario, calcio, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, potasio, rubidio, silicio, sodio y zinc estuvieron presentes en todos los puntos de monitoreo.

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

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	5	0.119	8.436	5	0.069	5.341
Antimonio	mg/L	1	0.0019	0.0019	0	0	0
Arsénico	mg/L	1	0.01993	0.01993	0	0	0
Bario	mg/L	5	0.0079	0.0333	5	0.0067	0.0212
Berilio	mg/L	1	0.00073	0.00073	1	0.00052	0.00052
Bismuto	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Boro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cadmio	mg/L	2	0.00136	0.00256	2	0.00112	0.00205
Calcio	mg/L	5	0.187	46.008	5	0.152	45.514
Cerio	mg/L	2	0.00061	0.00963	2	0.00026	0.00351
Cesio	mg/L	2	0.0008	0.0029	2	0.0007	0.0012
Cobalto	mg/L	4	0.0003	0.02123	4	0.00028	0.02009
Cobre	mg/L	4	0.0267	0.31761	4	0.02411	0.29539
Cromo	mg/L	1	0.0042	0.0042	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	5	0.0043	0.1068	5	0.0041	0.1011
Fósforo	mg/L	1	0.136	0.136	0	nd	nd
Galio	mg/L	1	0.00115	0.00115	0	nd	nd
Germanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hafnio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hierro	mg/L	5	0.1356	7.7703	5	0.0895	1.534

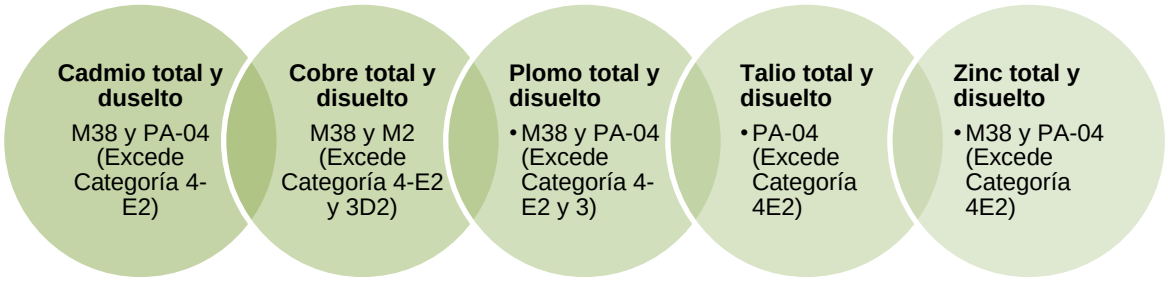
Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Lantano	mg/L	1	0.0048	0.0048	1	0.002	0.002
Litio	mg/L	2	0.0009	0.0045	0	nd	nd
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	5	0.076	1.739	5	0.062	1.634
Manganeso	mg/L	5	0.01285	0.37515	5	0.01105	0.34792
Mercurio	mg/L	1	0.0002	0.0002	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	1	0.00109	0.00109	0	nd	nd
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	3	0.0008	0.0218	3	0.0007	0.0196
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	3	0.0009	0.0916	3	0.0007	0.0866
Potasio	mg/L	5	0.53	3.67	5	0.52	3.6
Rubidio	mg/L	5	0.001	0.0161	4	0.0011	0.0103
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	5	0.86	24.61	5	0.77	23.87
Silicio	mg/L	5	0.4	11.51	5	0.36	11.16
Sodio	mg/L	5	0.169	1.194	5	0.152	1.116
Talio	mg/L	2	0.00027	0.025	1	0.02108	0.02108
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	4	0.0007	0.0675	1	0.0015	0.0015
Uranio	mg/L	3	0.000048	0.000118	1	0.0001	0.0001
Vanadio	mg/L	1	0.0051	0.0051	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	1	0.00014	0.00014	1	0.00008	0.00008
Zinc	mg/L	5	0.0101	0.4549	5	0.0083	0.4288
Zirconio	mg/L	1	0.00103	0.00103	0	nd	nd

Notas: nd = no detectado; color verde muestra parámetros que presentan al menos una excedencia a los ECA para las Categorías 3 y 4.

El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.187 a 46.008 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.

El cadmio total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en los puntos M38 y PA04, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. El cobre total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en el punto M38, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la categoría 4-E2 en M38 y PA-04; en PA-04 también excedió los ECA para la Categoría 3-D2. El talio total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en PA04, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. El zinc total excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en los puntos M38 y PA04, mientras que el zinc disuelto los excedió solo en PA-04. Estas ligeras excedencias estarían relacionadas con la geología de la zona.

Figura 4.3 Metales que exceden los ECA para la Categoría 3 y 4



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

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Detección y/o cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	0	0	0	

nd = no detectado

No se detectó la presencia de ningún parámetro microbiológico medido.

4.3 Pasivos ambientales

Durante la presente ronda de monitoreo se programó una muestra de pasivos ambientales: 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. El punto se encontró seco.

4.4 Evaluación Hidroquímica

La Tabla 4.7 presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de aguas naturales, expresados como miliequivalente. Con fines de complementar el balance iónico se ha incluido se han incluido fluoruros (F^-) y nitratos (NO_3^{-2}). Esto debido a que dichos iones han sido detectados en importante porcentaje con respecto al resto. En monitoreos anteriores se incluyó el aluminio en la lista de cationes, pero con fines de mantener el estándar aceptado académicamente, en este monitoreo dicho metal no ha sido considerado.

Tabla 4.7 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)

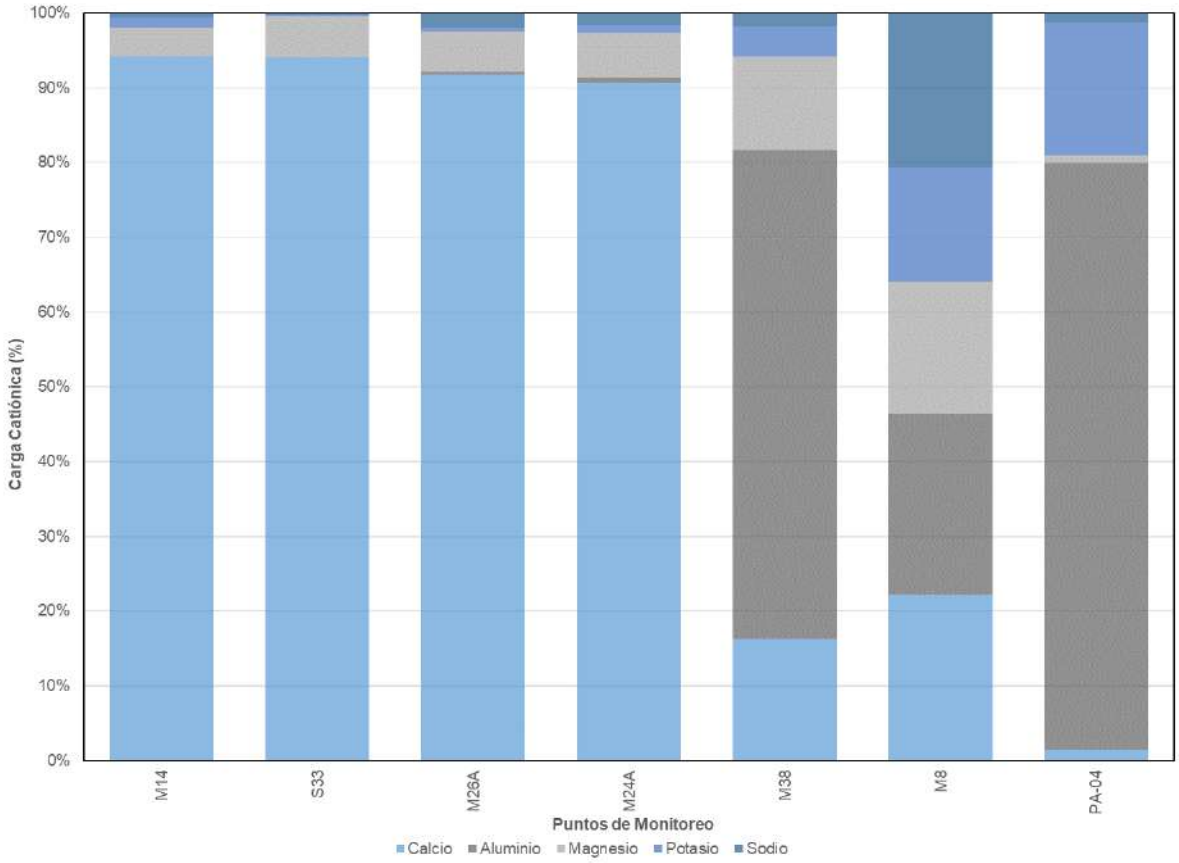
Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
M14	1.458	0.000	0.009	0.000	0.937	0.000	2.337	0.096	0.035	0.014	0.000
S33	3.420	0.009	0.026	0.000	0.296	0.000	2.902	0.171	0.007	0.007	0.000
M26A	2.468	0.004	0.026	0.000	0.199	0.002	2.276	0.134	0.013	0.049	0.008

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
M24A	1.965	0.014	0.016	0.000	0.185	0.007	1.705	0.115	0.018	0.030	0.013
M38	0.000	0.000	0.033	0.000	0.963	0.059	0.148	0.115	0.036	0.017	0.593
M8	0.000	0.000	0.002	0.000	0.128	0.000	0.023	0.019	0.016	0.022	0.026
PA-04	0.000	0.000	0.009	0.000	0.681	0.003	0.008	0.005	0.092	0.007	0.406

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).

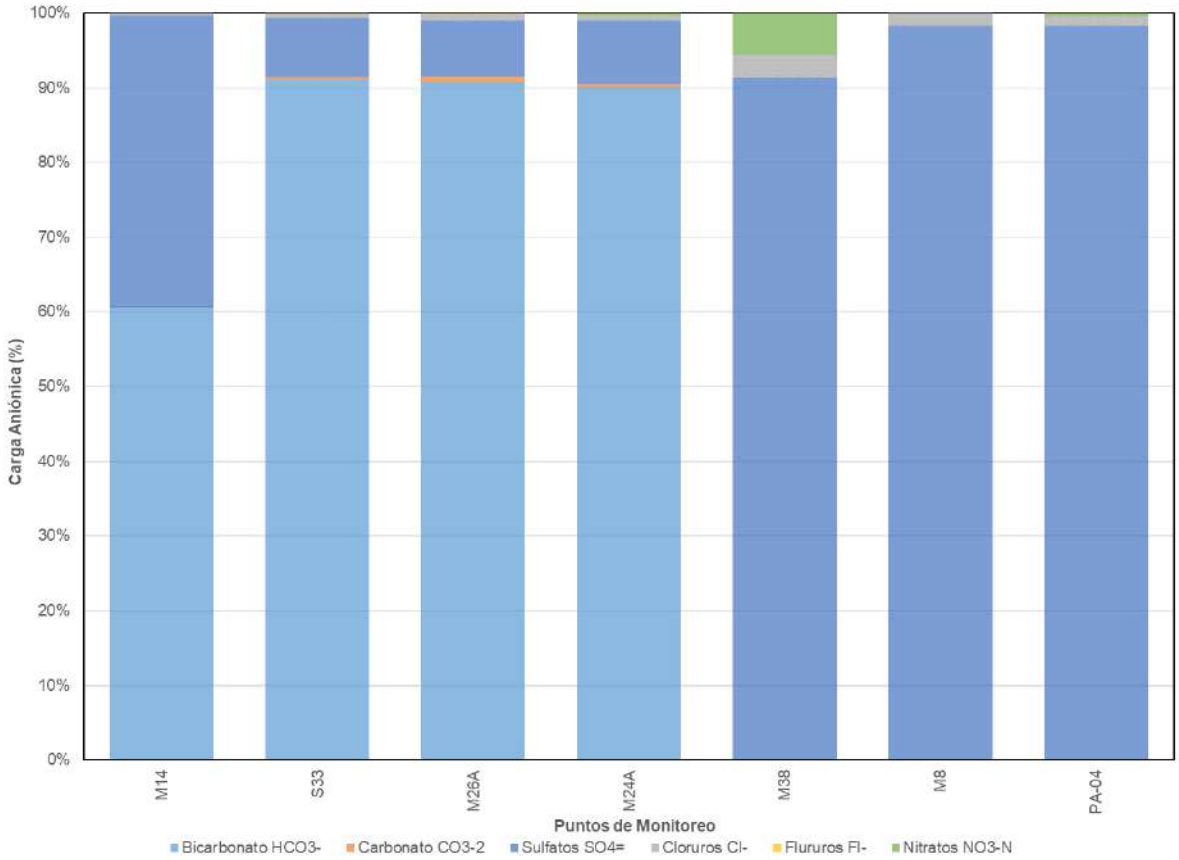
El calcio es el catión predominante en 4 de las 7 muestras tomadas en la Zona II, variando desde el 91% hasta el 94% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 93%. En los puntos M38 y PA-04 el catión predominante fue el aluminio, mientras que en M8 se tiene una carga mixta. La Figura 4.4 muestra la distribución de la carga catiónica total por punto de monitoreo.

Figura 4.4 Distribución de carga catiónica en los puntos de monitoreo



De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 83% de la carga aniónica total (CAT) en 4 de 7 muestras de agua. En 3 puntos el anión predominante es el sulfato con un promedio de 96% de la CAT. La Figura 4.5 muestra la distribución de la carga aniónica total por punto de monitoreo.

Figura 4.5 Distribución de carga aniónica en los puntos de monitoreo



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:

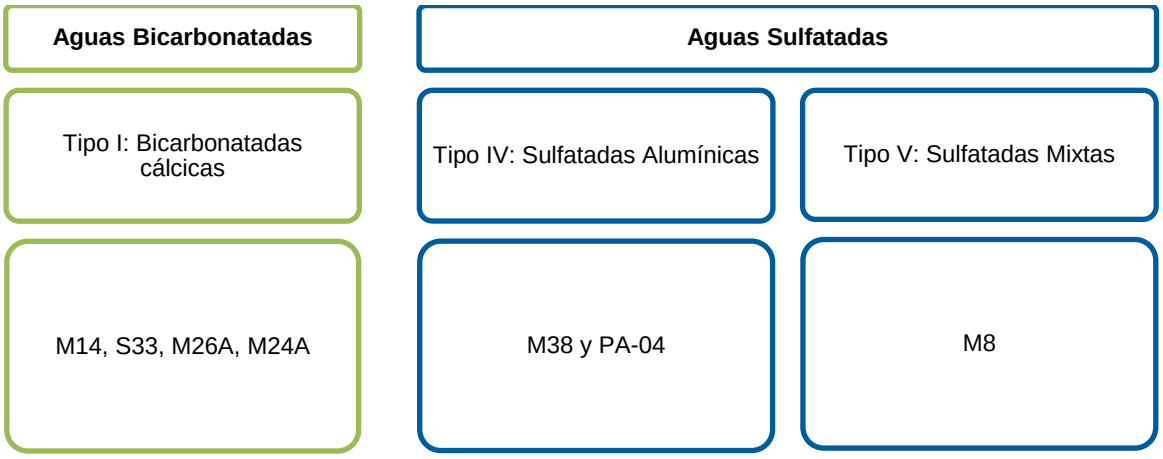
Tabla 4.8 Iones principales y tipos de agua

Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
M14	6.45	72.90	248.1	141.0	Ca	HCO3	Tipo I
S33	7.62	171.50	327.0	197.0	Ca	HCO3	Tipo I
M26A	7.98	123.60	236.3	139.0	Ca	HCO3	Tipo I
M24A	7.67	99.00	199.5	116.0	Ca	HCO3	Tipo I
M38	3.59	0.00	212.7	71.0	Al	SO4	Tipo IV
M8	4.19	0.00	27.9	16.0	Ca-Al-Mg	SO4	Tipo V
PA-04	3.41	0.00	206.7	120.0	Al	SO4	Tipo IV

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 M14, S33, M26A, M24A. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (116 a 197 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (99 a 171.5 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.45 a 7.98). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo IV: Sulfatadas - Alumínicas. Fue encontrada en las muestras M38 y PA-04. Estas aguas están caracterizadas por presentar un pH ácido (3.41 a 3.59) y una alcalinidad nula.
- Tipo V: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M8. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presenta un pH ácido (4.19), alcalinidad nula, baja concentración de STD (16 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<50 uS/cm).

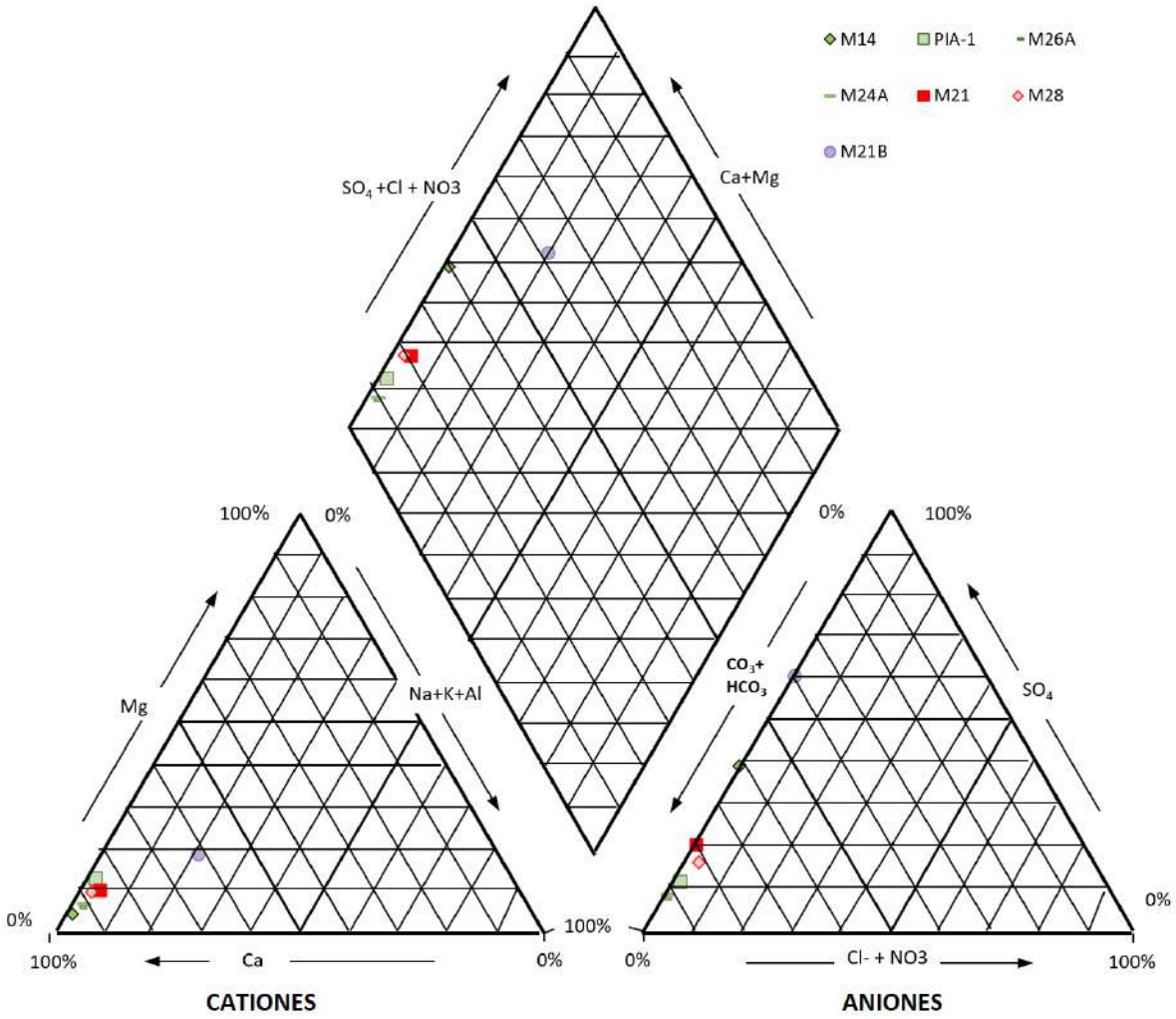
Figura 4.6 Clasificación hidroquímica



Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.7) 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 III a IV tienen muy bajas concentraciones de STD y pH ácido.

Figura 4.7 Diagrama Piper



5 Resultados en puntos con registro de solo parámetros de campo

5.1 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los puntos con registro de solo parámetros de campo, solo fue posible medir estos en M35 (M13 se encontró seco). La Tabla 5.1 muestra los valores registrados.

Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4

Punto	Fecha	Hora	pH	CE (µS/cm)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
ECA	**Categoría 3-D1**		6.5 – 8.5	2500	4	-	-	-
	Categoría 3-D2		6.5 – 8.4	5000	5	-	-	-
	Categoría 4-E1		6.5 – 9.0	1000	≥5	-	-	-
M35	26/11/2020	08:43:00	7.75	176.2	8.96	12.7	20.2	-

Nota: (1) Afloramiento somero, no es posible aforar. (2) Agua empozada, no es posible aforar. (3) Laguna o reservorio. (S/A) Sin acceso social

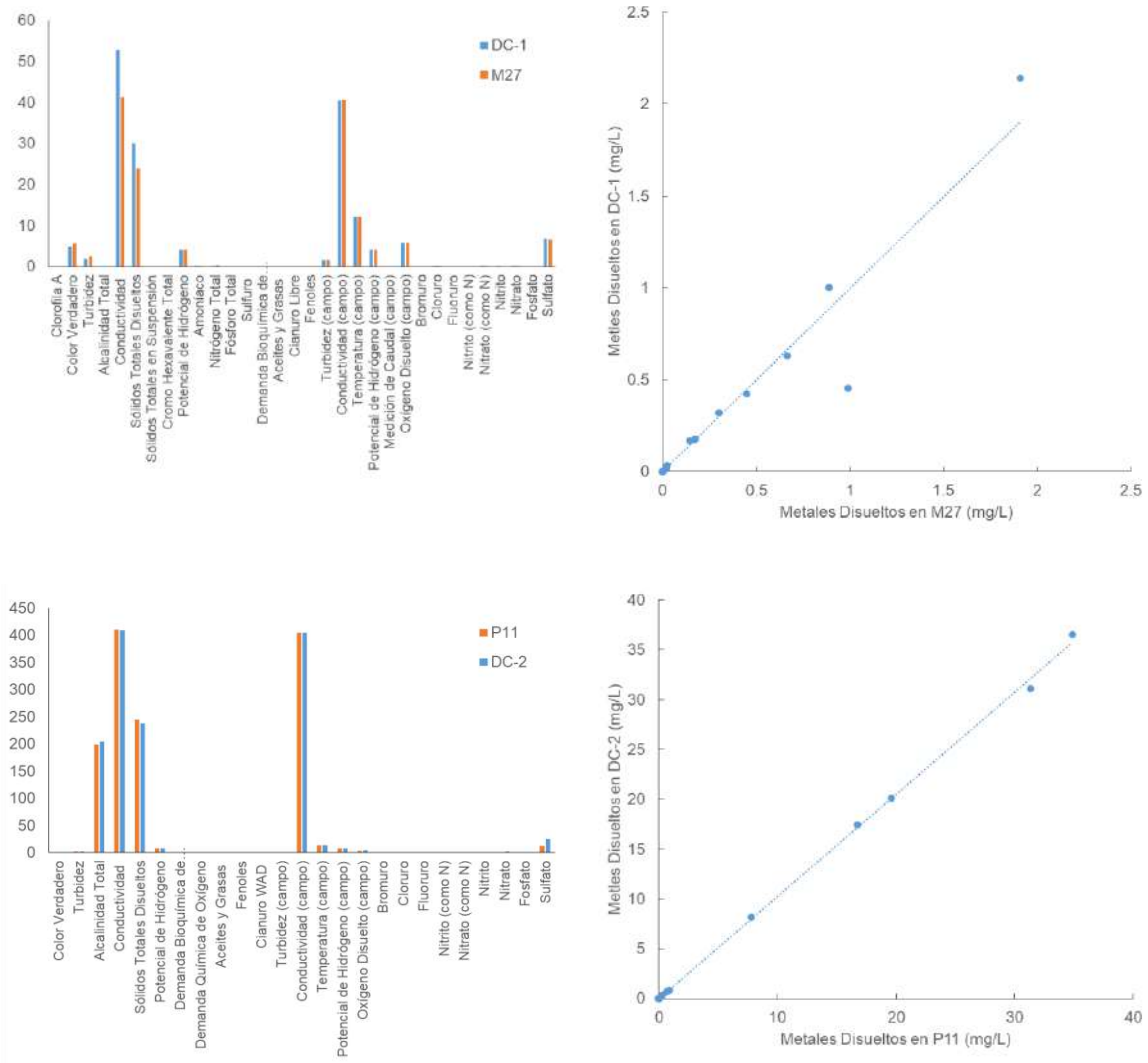
El pH de este punto se presentó muy alcalino (7.75) pero sin exceder el límite superior de los ECA para las categorías 3 y 4. El oxígeno disuelto, que es otro de los parámetros regulados, también se presentó cumpliendo los ECA para la categoría.

6 Control de calidad

6.1 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.3, A.4 y Figura 6.1.

Figura 6.1 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.

6.2 Blancos

6.2.1 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.5. 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.

6.2.2 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.7. Los resultados muestran que tal como se esperaba no se detectaron ninguno de los parámetros analizados.

6.3 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.

6.3.1 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 6.1 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 6.2 Balance iónico

Punto	∑ aniones meq/L	∑ cationes meq/L	∑cat - ∑anio meq/L	DPR %
M14	2.40398	2.4825	0.0785	1.6%
S33	3.75163	3.0874	-0.6643	-9.7%
M26A	2.69874	2.4792	-0.2196	-4.2%
M24A	2.18802	1.8814	-0.3067	-7.5%
M38	1.05489	1.0745	0.0196	0.9%
M8	0.13051	0.1471	0.0166	6.0%
PA-04	0.69324	0.9155	0.2222	13.8%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de PA-04, cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS. Sin embargo, la diferencia entre cationes y aniones 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.

6.3.2 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.

7 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:

- El color verdadero, el pH y el oxígeno disuelto excedieron los ECA para la Categoría 1-A1 en M14. Las características de ligera acidez del punto M14 estarían relacionadas con su ubicación al pie del área mineralizada del cerro hilorico, mientras que el oxígeno disuelto solo se presentó ligeramente por debajo del ECA (5.92 mg/L); esto puede deberse a la falta de aireación de estas aguas o a la presencia de algas.
- Los organismos de vida libre estuvieron presentes en ambos puntos de monitoreo en forma de algas y en S33 también en forma de nemátodos y protozoarios excediendo los ECA para la categoría. El punto con mayor presencia de algas fue M14 (110 organismos/L).
- La presencia de nemátodos, formas parasitarias y larvas de helmintos es muy baja (cerca de cero) y en este punto se requeriría una mayor atención a la limpieza de tanques. La presencia de algas ocurre casi en todos los lugares donde se almacena el agua ya que cuando el agua está estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. La presencia de algas es otro indicador de que es necesario prestar atención a la limpieza de tanques.

Aguas Categoría 3:

- Los puntos M8, M38 y PA-04 presentaron valores de pH de campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1. Estos puntos se hayan alrededor de zonas mineralizadas lo que explicaría su bajo pH.
- El fósforo total excedió ligeramente la categoría 4-E2 en los puntos M26A y M38; en los cursos de agua la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes en actividades de terceros y en oportunidades a características del propio suelo.
- Los valores de color verdadero excedieron ligeramente el ECA para la Categoría 4-E2 en M26A (ver Figura 4.2). Esta excedencia está dentro del margen de incertidumbre.
- El cadmio total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en los puntos M38 y PA04, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. El cobre total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en el punto M38, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la categoría 4-E2 en M38 y PA-04; en PA-04 también excedió los ECA para la Categoría 3-D2. El talio total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en PA04, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. El zinc total excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en los puntos M38 y PA04, mientras que el zinc disuelto los excedió solo en PA-04. Estas ligeras excedencias estarían relacionadas con la geología de la zona.

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 M14, S33, M26A, M24A. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (116 a 197 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (99 a 171.5 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.45 a 7.98). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo IV: Sulfatadas - Alumínicas. Fue encontrada en las muestras M38 y PA-04. Estas aguas están caracterizadas por presentar un pH ácido (3.41 a 3.59) y una alcalinidad nula.
- Tipo V: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M8. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presenta un pH ácido (4.19), alcalinidad nula, baja concentración de STD (16 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.

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

8 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.