PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA SECA 2020

INFORME ZONA II

Revisión C

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.

Av. El Derby 055, Edificio Cronos, Torre 1, Piso 9,
Santiago de Surco - Perú
T. (511) 616-3500
F. (511) 616-3525

Preparado por:

ING. CECILIA PECHE BECERRA

CIP139912
Lima - Perú

LIMA, NOVIEMBRE 2020

CONTENIDO

1	**INTRODUCCIÓN**	**4**
1.1	Introducción	4
1.2	Participación de la población local	4
2	**UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO**	**5**
2.1	Puntos de monitoreo con toma de muestra	5
2.2	Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo	5
3	**MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN-SITU Y AFOROS**	**6**
3.1	Muestreo para el análisis de laboratorio	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)	12
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)	16
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	18
4.3	Pasivos ambientales	19
4.4	Evaluación Hidroquímica	19
5	**RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETROS DE CAMPO**	**22**
5.1	Aguas superficiales, Categorías 3 y 4	22
6	**CONTROL DE CALIDAD**	**23**
6.1	Duplicado de muestra	23
6.2	Blancos	24
6.2.1	Blanco de campo	24
6.2.2	Blanco viajero	24
6.3	Control de calidad de los resultados de laboratorio	24
6.3.1	Balance iónico	24
6.3.2	Revisión cruzada de parámetros	25

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 27

8 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 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 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 18
Tabla 4.7 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 19
Tabla 4.8 Iones principales y tipos de agua 19
Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4 22
Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico 25
Tabla 6.2 Balance iónico 25

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 microbiológicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1..... 14
Figura 4.3 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3 16
Figura 4.4 Metales que exceden los ECA para la Categoría 3 18
Figura 4.5 Clasificación hidroquímica 20
Figura 4.6 Diagrama Piper 20
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado 23

LISTA DE MAPAS

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

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Resultados de análisis de laboratorio
Anexo B Memoria fotográfica
Anexo C Actas de monitoreo4733Reunideologia l
Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo
Anexo E Fichas de información de campo
Anexo F Registros de aforo
Anexo G Informes de ensayo de laboratorio

1 Introducción

1.1 Introducción

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

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

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

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

1.2 Participación de la población local

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

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

Participaron los siguientes pobladores y/o autoridades locales:

- 01 de agosto de 2020. Sr. Rogelio Cortez Zelada, Alcalde del Centro Poblado Quengomayo y Sr. Fausto Salazar Chávez, Teniente Gobernador del caserío El Punre.

2 Ubicación de puntos de monitoreo

2.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

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

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
Zona II						
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.

No fue posible obtener una muestra en los siguientes casos:

- Punto PA-02. Pasivo ambiental en Santa Rosa Milpo. El pasivo, corresponde a un botadero de desmonte actualmente cerrado y revegetado. El área no presenta 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
Zona II						
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

De los puntos programados para el registro de solo parámetros de campo, cuatro no fueron registrados:

- Punto M13. No presentó flujo.
- S30B. Sin flujo, agua empozada

3 Medición de parámetros in-situ y aforos

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

Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
PA-04	3.39	216.0	6.77	15.0	0.43
M14	6.76	286.0	5.82	12.0	0.60
M8	4.15	25.9	7.27	11.8	0.57
M38	3.88	110.7	6.91	13.4	12.5
M35	9.39	113.4	9.97	13.9	19.8
M26A	8.07	256.0	6.78	9.0	1.86
M24A	7.77	176.0	7.48	11.0	0.94
S33	7.51	393.0	7.11	12.1	0.47

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.

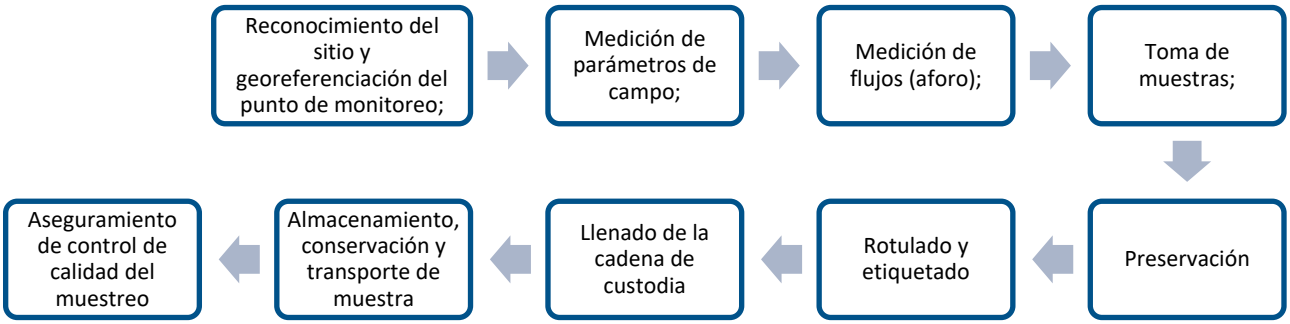
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Comentario
M14	0.15	--
S33	1.21	--
M38	1.34	--
M8	18.55	--
PA04	0.03	--
M26A	15.13	--
M24A	174.89	--
M13	--	Seco
M35	--	Laguna

3.1 Muestreo para el análisis de laboratorio

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

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo



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

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

El Anexo E presenta las fichas de información de campo.

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

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

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	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	x	x		
Cianuro Wad		x		x	
Cianuro Libre		x	x		

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	Asub	BK
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	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	x			
Enterococos intestinales		x			
Escherichia coli	x	x			
Vibrio cholerae	x				
Microcistina LR	x				
Formas Parasitarias	x				
Huevos de Helmintos		x			
Organismos de Vida Libre	x				

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

3.2 Control de calidad

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

- Los recipientes de muestras de calidad de agua deben ser específicamente suministrados por el laboratorio;
- Se debe utilizar los preservantes correctos de acuerdo con las especificaciones del laboratorio para cada parámetro;

- Se debe usar guantes de plástico descartables cuando se recogen y manipulan las muestras. Estos guantes deben cambiarse para cada lugar de toma de muestra;
- Las muestras deben mantenerse a la temperatura indicada por el laboratorio hasta que sean analizadas;
- Cada recipiente debe etiquetarse con letra clara y registrarse en la cadena de custodia (CDC);

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

Tabla 3.4 Listado de muestras de control de calidad

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

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

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

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

3.3 Estándares y guías aplicadas

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

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, del 11 de enero del 2016. El protocolo permite dar pautas de cómo se realiza la toma de muestra, preservación, conservación, transporte de muestras y el aseguramiento de la calidad para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.
- Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 21 de agosto del 2010.
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 07 de junio del 2017. Estos ECA para agua han sido empleados de manera referencial.

3.4 Laboratorio de análisis

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

Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio

Punto	Informe de Ensayo	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
M14	MA2012021	29/07/2020	15:30
S33	MA2012067	01/08/2020	11:40
M38	MA2011923	30/07/2020	10:00
M8	MA2011923	30/07/2020	09:00
PA-04	MA2011924	29/07/2020	14:30
M26A	MA2012068	01/08/2020	09:30
M24A	MA2012068	01/08/2020	10:30

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 punto con Categoría 1-A1 (véase Tabla 2.1). Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo. Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fenoles, bromuros, nitritos ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 1-A1. Si bien el DQO fue detectado, esto ocurrió solo en 1 punto (M14) en donde excedió el ECA La Tabla A.1 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

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

Punto	Unidades	M14	S33	Excede ECA
Color Verdadero	UC	nd	1.4	
Turbidez (Laboratorio)	NTU	nd	nd	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	152.7	220.3	
Dureza Total	mg CaCO3/L	171.2	205.6	
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	308	409	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	201	266	
pH (Laboratorio)	pH	7.04	8.09	
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	0.01	<0.010	
Fósforo Total	mg P/L	nd	0.056	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	20.5	nd	Si
Aceites y Grasas	mg/L	nd	nd	
Cianuro Total	mg/L	nd	nd	
Fenoles	mg/L	nd	nd	
Bromuro, Br-	mg/L	nd	nd	
Cloruros. Cl-	mg/L	0.263	0.801	
Fluoruros. F-	mg/L	nd	0.022	
Nitritos, (como N)	mg/L	nd	nd	
Nitratos, (como N)	mg/L	nd	nd	
Nitritos. NO2-	mg/L	nd	nd	
Nitratos. NO3-	mg/L	nd	nd	
Fosfatos	mg/L	nd	nd	
Sulfatos. SO4-2	mg/L	19.44	12.56	

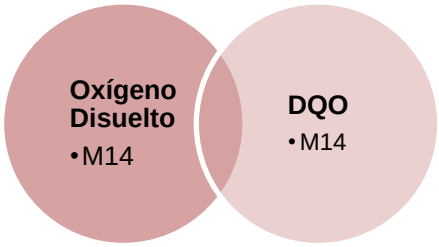
nd: no detectado

Existe buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de campo para M14 y S33 son 286 y

393 µS/cm mientras que los valores de laboratorio 308 y 409 µS/cm respectivamente. El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 6.76 y 7.51) y laboratorio (7.04 y 8.09).

El oxígeno disuelto y la DQO excedieron ligeramente el ECA en el punto M14. No hay evidencia de factores que puedan explicar la detección de DQO, como materia orgánica o nutrientes, por lo que se recomienda continuar monitoreando este parámetro para discernir si puede tratarse de un error de laboratorio.

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



Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón promedio de 0.65. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD de 261 y 266 mg/L (M14 y S33 respectivamente)..

Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como agua blanda la que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio ($CaCO_3$), medianamente dura entre 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L y muy dura aquella con valores superiores a 180 mg/L. La dureza total del agua Categoría 1-A1 en la zona de estudio varía de dura (M14) a muy dura (S33). La alcalinidad fue alta (> 150 mg $CaCO_3$/L).

No se registró nitratos, nitritos, ni sulfatos. Los fluoruros fueron detectados solo en S33.

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 las 2 muestras son: bario, calcio, estroncio, magnesio, sílice, silicio y sodio. No se registraron valores detectables de antimonio, arsénico, berilio, bismuto, boro, cromo, estaño, fósforo, germanio, hafnio, lantano, lutecio, mercurio, plata, selenio, tantalio, telurio, thorio, vanadio, wolframio e yterbio.

El metal más abundante es el calcio con valores de 76.83 y 60.152 mg/L respectivamente. Le sigue en importancia el silicio, magnesio, sodio y potasio. Ningún metal detectado en estos puntos superó los ECA para la categoria.

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

Parámetro	Unidad	M14		S33	
		Totales	Disueltos	Totales	Disueltos
Aluminio	mg/L	0.021	<0.003	sd	sd
Antimonio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Arsénico	mg/L	sd	sd	sd	sd
Bario	mg/L	0.0243	0.0207	0.0111	0.0111
Berilio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Bismuto	mg/L	sd	sd	sd	sd
Boro	mg/L	sd	sd	sd	sd
Cadmio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Calcio	mg/L	76.83	60.152	93.643	84.432
Cerio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Cesio	mg/L	sd	sd	0.0003	sd
Cobalto	mg/L	sd	sd	sd	sd
Cobre	mg/L	sd	sd	sd	sd
Cromo	mg/L	sd	sd	sd	sd
Estaño	mg/L	sd	sd	sd	sd
Estroncio	mg/L	0.0963	0.0821	0.1193	0.0981
Fósforo	mg/L	sd	sd	0.055	0.055
Galio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Germanio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Hafnio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Hierro	mg/L	0.0332	0.0057	0.0206	0.0126
Lantano	mg/L	sd	sd	sd	sd
Litio	mg/L	0.0011	sd	sd	sd
Lutecio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Magnesio	mg/L	1.632	1.263	3.777	3.461
Manganeso	mg/L	0.00329	0.00313	0.00084	0.00078
Mercurio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Molibdeno	mg/L	sd	sd	sd	sd
Niobio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Níquel	mg/L	0.0011	sd	sd	sd
Plata	mg/L	sd	sd	sd	sd
Plomo	mg/L	sd	sd	sd	sd
Potasio	mg/L	1.64	1.14	0.35	0.33
Rubidio	mg/L	0.0065	0.003	0.0011	sd
Selenio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Sílice	mg/L	12.07	8.8	4.29	3.41
Silicio	mg/L	5.64	4.11	2	1.59
Sodio	mg/L	0.454	0.226	0.249	0.228
Talio	mg/L	0.00035	0.00016	sd	sd
Tantalio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Teluro	mg/L	sd	sd	sd	sd
Thorio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Titanio	mg/L	sd	sd	0.001	0.001
Uranio	mg/L	0.000101	0.000101	0.000363	0.000328
Vanadio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Wolframio	mg/L	sd	sd	sd	sd
Yterbio	mg/L	sd	sd	sd	sd

Parámetro	Unidad	M14		S33	
		Totales	Disueltos	Totales	Disueltos
Zinc	mg/L	0.1028	0.0702	0.0135	0.0106
Zirconio	mg/L	sd	sd	sd	sd

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 duodenalis, larvas de helmintos, así como tampoco quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. Microsistina LR tampoco fue detectada.

Los organismos de vida libre estuvieron presentes en ambos puntos de monitoreo (M14, S33) en forma de algas. El punto con mayor presencia de algas fue M14 (396 organismos/L). En este punto las aguas se encuentran sin protección y sin tratamiento lo cual explicaría la presencia de estos organismos. En los otros puntos la presencia de algas es muy baja (cerca de cero) y en estos puntos se requeriría una mayor atención a la limpieza de tanques.

Figura 4.2 Parámetros microbiológicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1

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

Parámetro	Unidad	M14	S33
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	<1.8	4.5
Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	<1.8	<1.8
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	<1.8	<1.8
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
Nematodes Intestinales	Organismo/L	--	--
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Patógenos	Organismo/L	0	0
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Organismo/L	0	0
Algas	Organismo/L	396	2
Copépodos	Organismo/L	0	0
Nematodos en todos sus Estadios Evolutivos	Organismo/L	0	0
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	396	2
Protozoarios	Organismo/L	0	0

Parámetro	Unidad	M14	S33
Rotíferos	Organismo/L	0	0
Microcistina-LR	mg/L	<0.0008	<0.0008

nd = no detectado

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC la temporada seca del 2020 incluye la toma de muestra en 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, nitritos, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 3.

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

Físico - químicos	Unidad	# de ocurrencias	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Color Verdadero	UC	3	1.4	10.5	
Turbidez	NTU	5	0.2	10.6	
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	3	2.4	145.9	
Conductividad	uS/cm	5	26.1	267.6	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	15	167	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	1	7	7	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	nd	nd	
Potencial de Hidrógeno	pH	5	3.78	8.16	3
Amoníaco	mg NH3/L	3	0.017	0.437	
Fósforo Total	mg P/L	2	0.022	0.025	
Sulfuro	mgS2-/l	0	nd	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	3	5.3	6.6	
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	
Cianuro WAD	mg/L	0	nd	nd	
Bromuro, Br-	mg/L	0	nd	nd	
Cloruros, Cl-	mg/L	5	0.064	0.98	
Fluoruros, F-	mg/L	1	0.005	0.005	
Nitritos, (como N)	mg/L	0	nd	nd	

Físico - químicos	Unidad	# de ocurrencias	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Nitratos, (como N)	mg/L	4	0.039	0.09	
Nitritos NO2-	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos NO3-	mg/L	4	0.17	0.397	
Fosfatos	mg/L	0	nd	nd	
Sulfatos, SO4-2	mg/L	5	4.29	35.18	

nd = no detectado

Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 25.9 y 256 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 26.1 y 267 µS/cm mostrando en ambos casos concordancia.

Los valores de pH registrados en campo variaron entre 3.39 y 8.07, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 3.78 y 8.16. 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.

Figura 4.3 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3

Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 15 y 167 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 o cercana a 0 en puntos que presentaron un pH ácido y alta en aquellos puntos que presentaron un pH alcalino (>8).

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitratos (como NO_3) variaron de 0.17 a 0.397 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. Las concentraciones de amoniaco fueron en general bajas (de 0.017 a 0.437 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 4.29 y 35.18 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 0.064 a 0.98 mg/L y fue detectado en todos los puntos. Los fluoruros fueron detectados solo en M8 (0.005 mg/L). En ninguno de los casos se excedieron los ECA para la categoría 3.

4.2.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.5 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 3.

Aluminio, bario, calcio, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sílice, silicio, sodio y zinc estuvieron presentes en todos los puntos de monitoreo. No se detectó la presencia de antimonio total y disuelto, bismuto total y disuelto, boro total y disuelto, cromo total y disuelto, estaño total y disuelto, germanio total y disuelto, hafnio total y disuelto, lantano total y disuelto, lutecio total y disuelto, mercurio total y disuelto, niobio total y disuelto, plata total y disuelta, selenio total y disuelto, tantalio total y disuelto, telurio total y disuelto, thorio total y disuelto, vanadio total y disuelto, wolframio total y disuelto, así como tampoco zirconio total y disuelto.

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

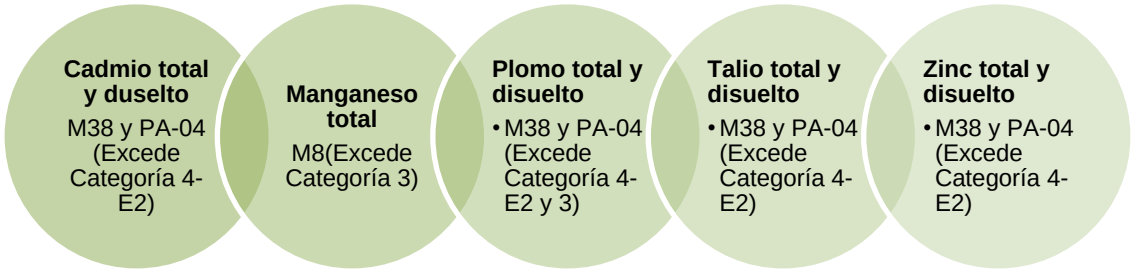
Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	5	0.044	4.567	4	0.033	4.5
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bario	mg/L	5	0.0114	0.0234	5	0.0108	0.0178
Berilio	mg/L	1	0.00018	0.00018	1	0.00017	0.00017
Bismuto	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Boro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cadmio	mg/L	3	0.00024	0.00299	3	0.00023	0.00234
Calcio	mg/L	5	0.219	63.536	5	0.2	55.484
Cerio	mg/L	3	0.00049	0.00117	3	0.0003	0.00062
Cesio	mg/L	2	0.0005	0.0007	1	0.0007	0.0007
Cobalto	mg/L	4	0.00012	0.01069	3	0.00765	0.00943
Cobre	mg/L	4	0.00919	0.06491	4	0.00383	0.05769
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	5	0.0066	0.1576	5	0.006	0.1215
Fósforo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Galio	mg/L	1	0.00017	0.00017	1	0.00016	0.00016
Germanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hafnio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hierro	mg/L	5	0.0797	2.1534	5	0.0023	0.9563
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	2	0.0009	0.0011	1	0.0011	0.0011
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	5	0.078	2.228	5	0.06	2.013
Manganeso	mg/L	5	0.01209	0.24797	5	0.01016	0.19137
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	1	0.00018	0.00018	0	nd	nd
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	3	0.0078	0.0113	3	0.0052	0.0093
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	3	0.0042	0.0998	3	0.0019	0.0881
Potasio	mg/L	5	0.54	3.99	5	0.35	3.83
Rubidio	mg/L	5	0.0009	0.0113	4	0.0013	0.0111
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	5	3.53	35.09	5	2.07	28.7
Silicio	mg/L	5	1.65	16.4	5	0.97	13.41

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Sodio	mg/L	5	0.116	2.116	5	0.1	2.113
Talio	mg/L	3	0.00006	0.02682	3	0.00006	0.02213
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	5	0.001	0.005	4	0.0008	0.0022
Uranio	mg/L	2	0.000056	0.000233	2	0.000043	0.000212
Vanadio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	1	0.00023	0.00023	0	nd	nd
Zinc	mg/L	5	0.0106	0.4146	5	0.0098	0.4009
Zirconio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

nd: no detectado

El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.219 a 63.536 mg/L en su forma total. Le sigue en importancia la sílice, el silicio, magnesio, potasio, aluminio y sodio. Es notorio el incremento de las concentraciones de calcio y magnesio conforme las aguas discurren hacia aguas abajo. Las concentraciones de cadmio, plomo, talio y zinc tanto totales como disueltas excedieron los ECA para la Categoría 4-E2 en M38 y PA-04. Adicionalmente el plomo total y disuelto excede los ECA para la Categoría 3 en los mismos puntos. Las concentraciones de manganeso total excedieron los ECA para la categoría 3 en M8. Estas ligeras excedencias estarían relacionadas con la geología de la zona.

Figura 4.4 Metales que exceden los ECA para la Categoría 3



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. No se detectó ninguno de los parámetros analizados.

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

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	nd	nd	

nd = no detectado

4.3 Pasivos ambientales

Durante la presente ronda de monitoreo se programaron dos muestras del pasivo ambiental PA-02. 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	3.051	0.003	0.007	0.000	0.405	0.000	3.008	0.104	0.029	0.010	0.000
S33	4.351	0.054	0.023	0.001	0.261	0.000	4.222	0.284	0.008	0.010	0.000
M38	0.000	0.000	0.005	0.000	0.565	0.003	0.010	0.005	0.036	0.004	0.500
M8	0.048	0.000	0.002	0.000	0.089	0.000	0.126	0.057	0.017	0.022	0.225
PA-04	0.000	0.000	0.002	0.000	0.732	0.004	0.013	0.006	0.098	0.005	0.280
M26A	2.875	0.042	0.028	0.000	0.456	0.003	2.774	0.165	0.009	0.092	0.004
M24A	1.674	0.023	0.019	0.000	0.181	0.006	1.635	0.134	0.014	0.051	0.000

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

El calcio es el catión predominante en 4 de las 7 muestras. En los puntos M38, M8 y PA-04 el catión predominante fue el aluminio. De manera similar, el bicarbonato fue el anión predominante en 4 de las 7 muestras. En 3 puntos el anión predominante es el sulfato.

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	7.04	152.70	308.0	201	Ca	HCO3	Tipo I
S33	8.09	220.30	409.0	266	Ca	HCO3	Tipo I
M38	4.03	0.00	111.1	73	Al	SO4	Tipo III
M8	4.58	2.40	26.1	15	Al	SO4	Tipo III
PA-04	3.78	0.00	216.0	147	Al	SO4	Tipo III
M26A	8.16	145.90	267.6	167	Ca	HCO3	Tipo I
M24A	8.13	84.90	185.0	120	Ca	HCO3	Tipo I

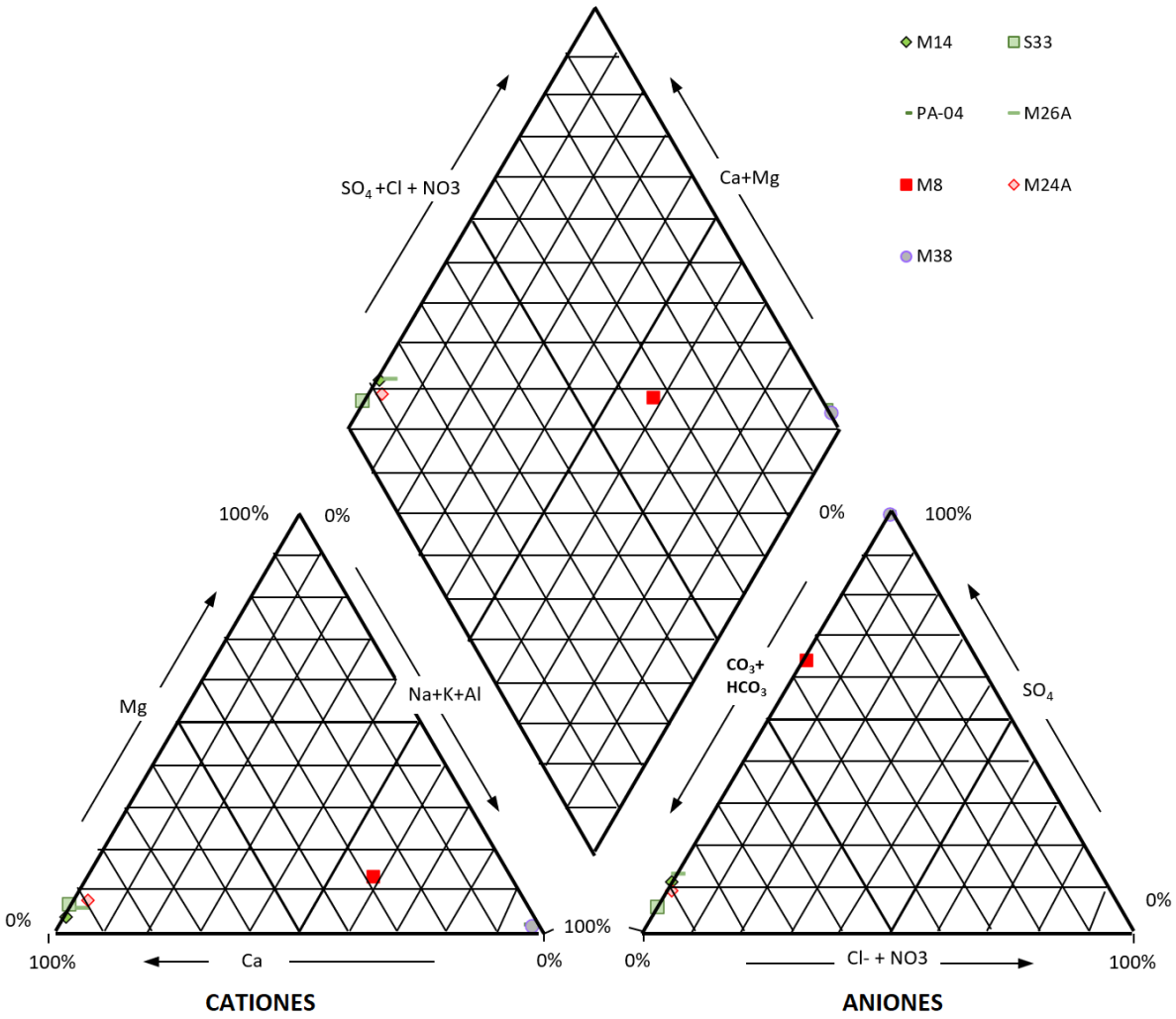
Con base en los contenidos observados de los iones principales en los puntos de monitoreo de aguas naturales, los tipos químicos de agua identificados en la zona son los siguientes:

- 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, una alcalinidad moderada a alta y un pH circum neutral a alcalino (7.04 a 8.16).
- Tipo III: Sulfatadas - Alumínicas. Fue encontrada en las muestras M38, M8, PA-04. Estas aguas están caracterizadas por presentar un pH ácido (3.78 a 4.58) y una alcalinidad muy baja a nula (<2.4 mg CACO3/L). Además, con excepción de PA-04 presentan una baja concentración de STD (15 a 73 mg/L) y CE moderada a baja (<115 us/cm).

Figura 4.5 Clasificación hidroquímica

Aguas Bicarbonatadas	Aguas Sulfatadas
Tipo I: Bicarbonatadas cálcicas	Tipo III: Sulfatadas Alumínicas
b) M14, S33, M26A, M24A	M38, M8, PA-04

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 (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO_3^-, CO_3^{-2} SO_4^{-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.

5 Resultados en puntos con registro de solo parámetros de campo

5.1 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los dos puntos con medición de solo parámetros de campo, M13 se encontró seco. La Tabla 5.1 muestra los valores registrados en campo para puntos de categorías 3 y 4.

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	30/07/2020	10:40:00	9.39	113.4	9.97	13.9	19.8	--

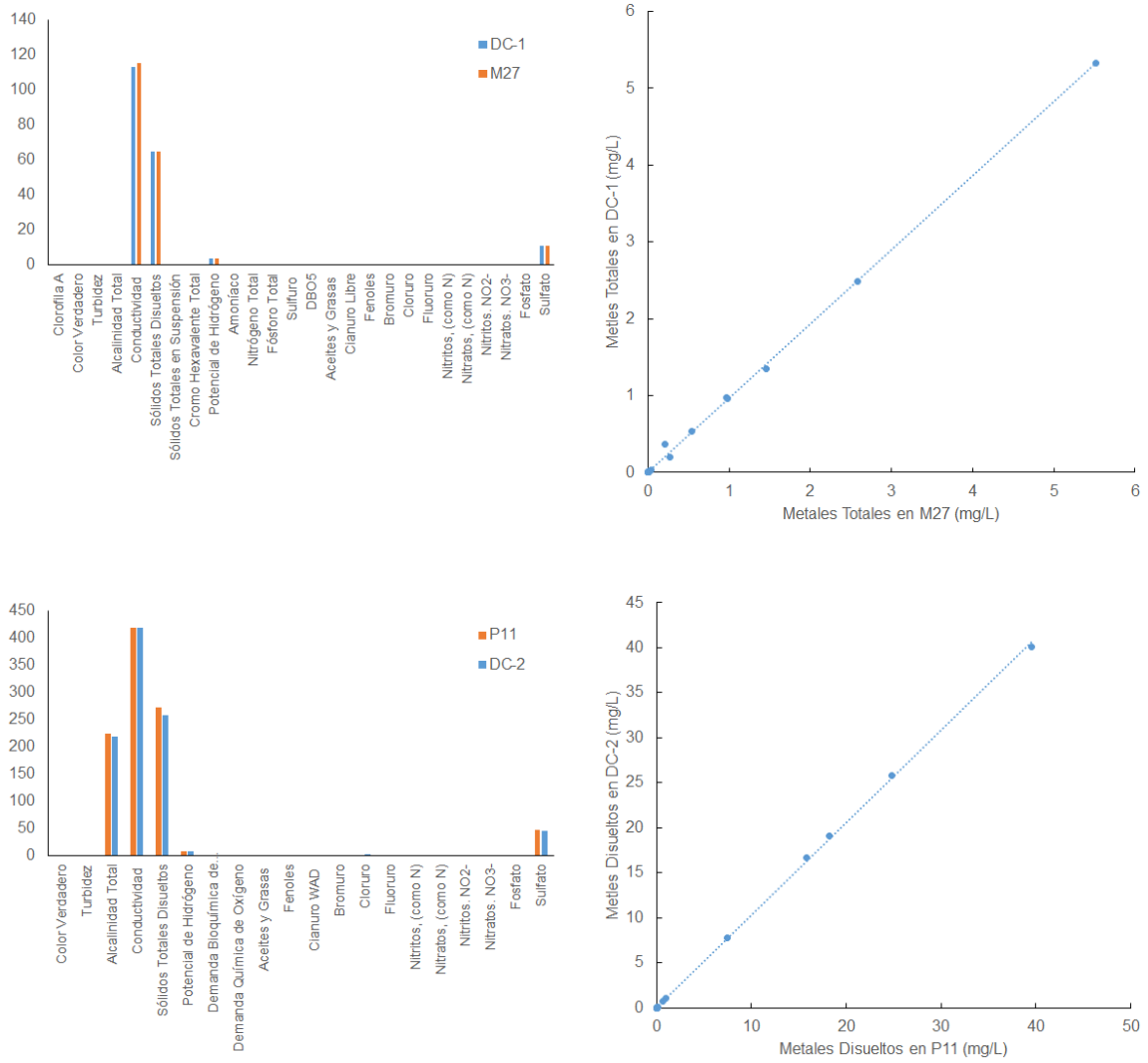
El pH de M35 fue alcalino (9.39) excediendo el límite superior de los ECA para la categoría 3 y 4. Este valor está influenciado por la roca caliza de la zona. La conductividad eléctrica fue de 113.4 uS/cm, la temperatura 13.9 °C. El oxígeno disuelto fue 9.97 mg/L.

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.5. 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	3.46599	3.1502	-0.3158	-4.8%
S33	4.73306	4.4578	-0.2752	-3.0%
PA-04	0.57239	0.6484	0.0760	6.2%
M26A	0.13949	0.4736	0.3341	54.5%
M24A	0.73760	0.5682	-0.1695	-13.0%
M38	4.01876	3.9365	-0.0823	-1.0%
M8	0.30222	0.3008	-0.0015	-0.2%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de M26A, M24A cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS. Por otro lado, en los mencionados puntos, con excepción de M26A, 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.

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 oxígeno disuelto estuvo ligeramente por debajo de su correspondiente ECA en M14.
- La DQO excedió ligeramente el ECA en el punto M14. No hay evidencia de factores que puedan explicar la detección de DQO, como la presencia de materia orgánica o nutrientes, por lo que se recomienda continuar monitoreando este parámetro para discernir si puede tratarse de un error de laboratorio.
- Los organismos de vida libre estuvieron presentes en los 2 puntos de monitoreo (M14, S33) en forma de algas, excediendo los ECA. El punto con mayor presencia de algas fue M14 (396 organismos/L).

Aguas Categoría 3:

- 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.
- Las concentraciones de cadmio, talio y zinc tanto totales como disueltas excedieron los ECA para la Categoría 4-E2 en M38 y PA-04 pero sin exceder los ECA para la categoría 3. Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la categoría 4-E2 y para la Categoría 3 en PA-04. Estas ligeras excedencias estarían relacionadas con la geología de la zona.

Aguas Categoría 4:

- El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M27 y M22. Este punto se encuentra inmediatamente alrededor del área mineralizada, por lo que los valores naturales de pH serían consecuencia de la geología de la zona.
- Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la Categoría 4, subcategoría E1 (lagos y lagunas) en el punto M27. Esta excedencia se ha presentado a lo largo de todas las rondas de monitoreo previas, salvo en cuatro ocasiones. M27 se encuentra al lado de la zona mineralizada con presencia de galena (sulfuro de plomo), lo cual explicaría la presencia de plomo en las aguas.

Pasivos ambientales.

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

En los puntos en los que se registró solo parámetros de campo, se observa lo siguiente:

- El pH de M35 fue alcalino (9.39) excediendo el límite superior de los ECA para la categoría 3 y 4. Este valor está influenciado por la roca caliza de la zona. La conductividad eléctrica fue de 113.4 uS/cm, la temperatura 13.9 °C. El oxígeno disuelto fue 9.97 mg/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:

- 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, una alcalinidad moderada a alta y un pH circum neutral a alcalino.
- Tipo III: Sulfatadas - Alumínicas. Fue encontrada en las muestras M38, M8, PA-04. Estas aguas están caracterizadas por presentar un pH ácido (3.78 a 4.58) y una alcalinidad muy baja a nula (<2.4 mg CACO3/L). Además, con excepción de PA-04 presentan una baja concentración de STD (15 a 73 mg/L) y CE moderada a baja (<115 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 coliformes totales y fecales, a fin de indicarles la necesidad de efectuar una jornada de limpieza de tanques. Esta limpieza debería ser efectuada en forma previa al siguiente monitoreo semestral.

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