

PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2019

INFORME ZONA II

Revisión C

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.



Lumina copper sac

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

Preparado por:

ING. CECILIA PECHE BECERRA

CIP139912
Lima - Perú

LIMA, FEBRERO 2020

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Introducción	4
1.2	Participación de la población local	4
2	UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	6
2.1	Puntos de monitoreo con toma de muestra	6
2.2	Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo	6
3	METODOLOGÍA	7
3.1	Medición de parámetros in-situ	7
3.2	Medición de caudales	8
3.3	Muestreo para el análisis de laboratorio	8
3.4	Control de calidad	11
3.5	Estándares y guías aplicadas	11
3.6	Laboratorio de análisis	12
4	RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA	13
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	13
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	13
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	15
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	17
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	17
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	17
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	20
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	22
4.3	Pasivos ambientales	22
4.4	Evaluación Hidroquímica	22
5	RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETROS DE CAMPO	25
5.1	Aguas superficiales, Categorías 3 y 4	25
6	CONTROL DE CALIDAD	26
6.1	Duplicado de muestra	26
6.2	Blancos	27
6.2.1	Blanco de campo	27
6.2.2	Blanco viajero	27
6.3	Control de calidad de los resultados de laboratorio	27

6.3.1	Balance iónico	27
6.3.2	Revisión cruzada de parámetros	28
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
8	REFERENCIAS	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua	6
Tabla 2.2	Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo	6
Tabla 3.1	Listado de parámetros medidos en campo	7
Tabla 3.2	Parámetros fisicoquímicos registrados en campo	7
Tabla 3.3	Flujos registrados en campo	8
Tabla 3.4	Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría	9
Tabla 3.5	Listado de muestras de control de calidad	11
Tabla 3.6	Informes de ensayo de laboratorio	12
Tabla 4.1	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1	13
Tabla 4.2	Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1	15
Tabla 4.3	Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1	17
Tabla 4.4	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3	18
Tabla 4.5	Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3	20
Tabla 4.6	Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3	22
Tabla 4.7	Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)	22
Tabla 4.8	Iones principales y tipos de agua	23
Tabla 5.1	Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4	25
Tabla 6.1	Criterios de análisis de balance iónico	28
Tabla 6.2	Balance iónico	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Distribución de las muestras programadas y efectuadas según categoría	6
Figura 3.1	Procedimiento de muestreo	9
Figura 4.1	Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1	14
Figura 4.2	Clasificación de las aguas Categoría 1-A1 según su dureza, pH, STD y alcalinidad	15
Figura 4.3	Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad	19
Figura 4.4	Metales que exceden los ECA para la Categoría 3	21

Figura 4.5 Clasificación hidroquímica	23
Figura 4.6 Diagrama Piper	24
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado	26

LISTA DE MAPAS

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

LISTA DE ANEXOS

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

1 Introducción

1.1 Introducción

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

El presente informe muestra los resultados de la ronda de monitoreo semestral de calidad de aguas correspondiente a la temporada húmeda 2019. El monitoreo se llevó a cabo del 21 al 30 de noviembre de 2019. Las áreas de trabajo incluyeron las quebradas Hierbabuena, Chamcas y Yanacocha, así como las zonas altas de la quebrada Chirimayo y la quebrada Chanche. Es importante mencionar que durante todo el periodo de monitoreo se presentaron lluvias intensas en las diferentes zonas de trabajo. Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo A, mientras que el Anexo B presenta la memoria fotográfica.

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

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

1.2 Participación de la población local

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

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

Adicionalmente, asistieron las siguientes personas:

- 21 de noviembre de 2019. Sr. Santos Casahuamán Salazar, agente municipal de Santa Rosa de Milpo; Sra. Sarita Vásquez Cueva; Sr. Auber Acosta Villar, representante de la ALA; Sra. Tatiana Rivera Aguilar, representante de la ALA.
- 22 de noviembre de 2019. Sra. Noemí Saucedo Mena, personal de salud; Sr. Auber Acosta Villar, representante de la ALA; Sra. Tatiana Rivera Aguilar, representante de la ALA;

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

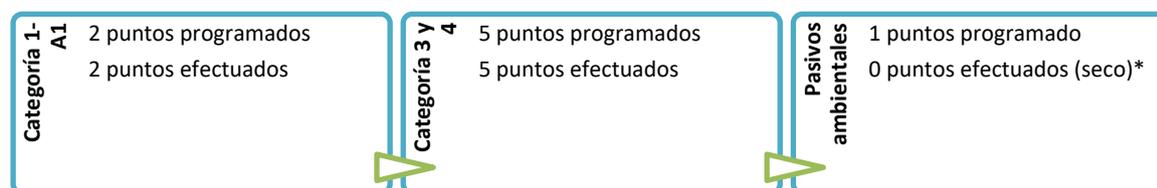
Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
Zona II						
M14	797447	9228853	3824	ACD escuela Santa Rosa de Milpo	1-A1	Si
S33	800018	9226342	3513	ACD en El Punre	1-A1	Si
M24A	800308	9225830	3002	Qda. Milpo (Chanche)	3 y 4	Si
M26A	801460	9226894	3575	Qda. Quengomayo	3 y 4	Si
M38	798130	9227056	3768	Qda. Quinuacucho	3 y 4	Si
M8	797238	9227678	3789	Qda. Milpo	3 y 4	Si
PA02	797328	9228764	3895	Pasivo ambiental cerrado	-	<u>Seco</u>
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.

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

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

Figura 2.1 Distribución de las muestras programadas y efectuadas según categoría



*PA-02 seco.

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	Si
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

3 Metodología

3.1 Medición de parámetros in-situ

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

Tabla 3.1 Listado de parámetros medidos en campo

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

La tabla siguiente muestra los parámetros de campo registrados:

Tabla 3.2 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Potencial de óxido reducción (mV)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
M14	6.13	237.9	156.0	92.9	8.0	9.4	1.31
M8	4.81	34.2	23.0	14.0	6.9	11.0	1.51
S33	8.35	375.5	235.0	90.0	7.2	9.0	1.36
M38	3.64	120.1	78.0	160.0	7.4	8.8	4.48
M26A	8.04	239.1	158.0	145.5	8.3	10.5	2.67
M24A	8.15	167.1	110.0	574.3	7.9	10.3	4.27
PA04	4.70	250.1	163.0	186.1	7.0	9.5	0.1
M13	5.95	69.6	45.0	92.6	5.8	13.3	0.1
M35	8.43	220.0	143.0	53.4	12.4	11.2	4.67

3.2 Medición de caudales

La medición de caudales fue efectuada mediante tres procedimientos distintos dependiendo de las condiciones de flujo de cada fuente a medir:

- Método volumétrico. Principalmente usado en las captaciones de agua para consumo doméstico.
- Método área velocidad empleado flotador. Este método fue empleado para cuantificar el flujo en pequeños cauces con bajo caudal, en los cuales el tirante no fue suficiente como para emplear un correntómetro.
- Método área velocidad empleado correntómetro. Este método fue empleado para cuantificar el flujo de ríos y quebradas de mediano caudal, con un tirante suficiente para la manipulación del equipo.

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

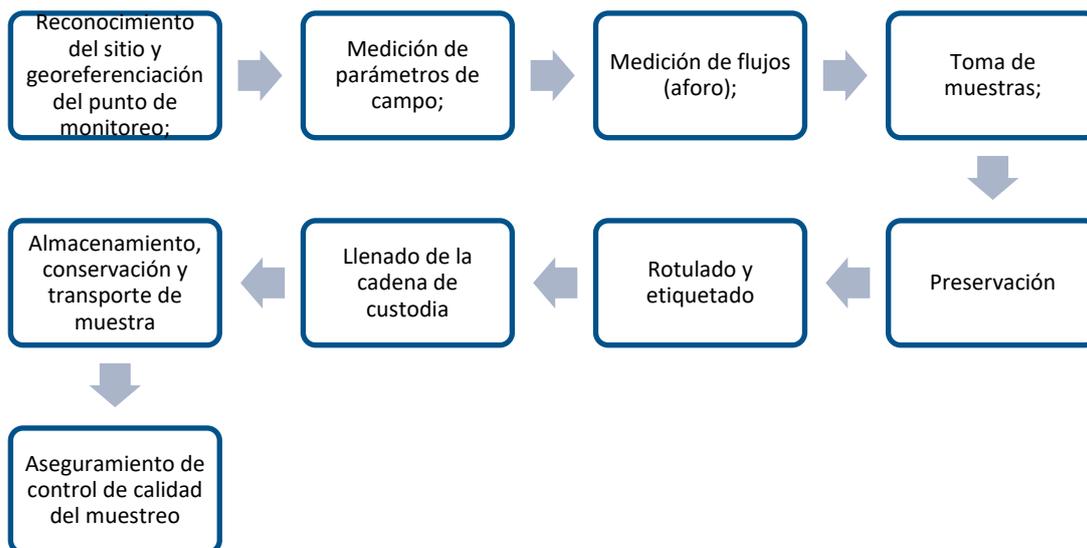
Tabla 3.3 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Método	Observación
S33	2.66	Volumétrico	-
M14	2.39	Volumétrico	
M8	271.53	Área - Velocidad	-
M38	84.30	Área - Velocidad	-
M26A	94.28	Área - Velocidad	-
M24A	324.00	Área - Velocidad	-
PA04	0.23	Volumétrico	-
PA02	0.00	Volumétrico	Pasivo cerrado. El área no produce flujo.
M13	-	No aforado	Afloramiento somero. No es posible aforar.
M35	-	No aforado	Laguna/reservorio

3.3 Muestreo para el análisis de laboratorio

El procedimiento de muestreo seguido durante el presente monitoreo ha sido acorde a lo indicado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 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, sólidos totales disueltos, aniones y metales disueltos.

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

Categoría	1-A1	3 y 4	4	Subterr	Pasivos	Bk campo	Bk viajero
Aceites y Grasas	x	x	x	x	x		
Alcalinidad Total	x	x	x	x	x		
Amoniaco (NH3)		x	x				
Aniones por Cl: Bromuro, Cloruros, Fluoruros, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Sulfatos	x	x	x	x	x	x	x

Categoría	1-A1	3 y 4	4	Subterr	Pasivos	Bk campo	Bk viajero
Cianuro Libre		x	x				
Cianuro Total	x				x		
Cianuro Wad		x		x			
Clorofila A			x				
Coliformes Fecales	x	x	x	x			
Coliformes Totales	x						
Color Verdadero	x	x	x	x	x		
Conductividad	x	x	x	x	x		
Cromo Hexavalente		x	x		x		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	x	x	x	x	x		
Demanda Química de Oxígeno	x	x		x	x		
Detergentes		x					
Dureza Total	x						
Escherichia coli	x	x					
Fenoles	x	x	x	x			
Fósforo Total	x	x	x				
Huevos de Helmintos		x					
Metales disueltos	x	x	x	x	x	x	x
Metales totales	x	x	x	x	x	x	x
Microcistina LR	x						
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	x				x		
Nitrógeno Total			x				
Organismos de Vida Libre	x						
Formas parasitarias	x						
pH (Laboratorio)	x	x	x	x	x		
Sólidos Totales Disueltos	x	x	x	x	x		
Sólidos Totales Suspendedos		x	x		x		
Sulfuros		x	x				
Turbidez	x	x	x	x			
Vibrio Cholerae	x						
Bacterias heterotróficas							x

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

3.4 Control de calidad

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

- Los recipientes de muestras de calidad de agua deben ser específicamente suministrados por el laboratorio;
- Se debe utilizar los preservantes correctos de acuerdo con las especificaciones del laboratorio para cada parámetro;
- Se debe usar guantes de plástico descartables cuando se recogen y manipulan las muestras. Estos guantes deben cambiarse para cada lugar de toma de muestra;
- Las muestras deben mantenerse a la temperatura indicada por el laboratorio hasta que sean analizadas;
- Cada recipiente debe etiquetarse con letra clara y registrarse en la cadena de custodia (CDC);

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

Tabla 3.5 Listado de muestras de control de calidad

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

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

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

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

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

3.5 Estándares y guías aplicadas

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

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

3.6 Laboratorio de análisis

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

Las muestras recibidas por el laboratorio han sido clasificadas en “grupos” de ensayo, como sigue:

Tabla 3.6 Informes de ensayo de laboratorio

Punto	Zona	Informe de ensayo
M14	Zona II	MA1929746
PA-04	Zona II	MA1929750
M26A	Zona II	MA1929858
M24A	Zona II	MA1929858
S33	Zona II	MA1929993
M8	Zona II	MA1929976
M38	Zona II	MA1929976

En total se ha hecho entrega de 2 puntos Categoría 1-A1 y 5 puntos Categoría 3 y 4. Adicionalmente se ha entregado 2 duplicados de campo (Categoría 4 y agua subterránea), y 3 puntos de control de calidad (2 blancos de campo y 1 blanco viajero).

4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para el año 2019 incluye la toma de muestra en 2 puntos con Categoría 1-A1 en la Zona II (véase Tabla 2.1). Se efectuaron los 2 puntos programados. Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo. Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fenoles, bromuros, nitritos, 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

Punto	Unidades	M14	S33
Parámetros de campo			
pH	Unidades pH	6.13	8.35
Conductividad	uS/cm	237.90	375.5
Potencial de óxido reducción POR	mV	92.9	90
Oxígeno Disuelto	mg/L	8	7.2
Temperatura	°C	9.4	9
Turbidez	NTU	1.31	1.36
Caudal	(L/s)	2.39	2.66
Materiales flotantes	-	Ausencia	Ausencia
Parámetros fisicoquímicos de laboratorio			
Color Verdadero	UC	nd	4.2
Turbidez (Laboratorio)	NTU	0.8	1.4
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	105.9	183.9
Bicarbonato (**)	mg CO ₃ -2/L	105.5	183.7
Carbonato (**)	mg CO ₃ -1/L	0.4	0.2
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	113.5	184.9
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	221	335
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	156	259
pH (Laboratorio)*	pH	7.60	7.11
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₃ -N/L	nd	0.013
Fósforo Total	mg P/L	0.021	0.043
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd	<2.6
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	10.6	4.6
Aceites y Grasas	mg/L	nd	<0.4
Cianuro Total	mg/L	nd	<0.0008
Fenoles	mg/L	nd	<0.0005
Bromuro, Br-	mg/L	nd	<0.042

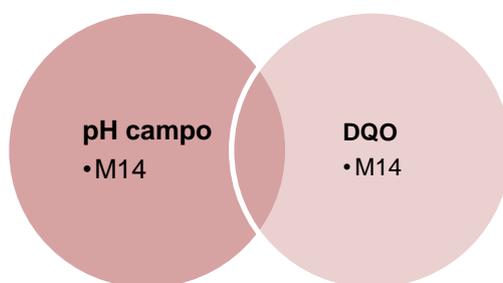
Punto	Unidades	M14	S33
Cloruros. Cl-	mg/L	0.371	0.505
Fluoruros. F-	mg/L	nd	0.056
Nitritos, (como N)	mg/L	nd	<0.002
Nitratos, (como N)	mg/L	0.104	0.227
Nitritos. NO ₂ -	mg/L	nd	<0.006
Nitratos. NO ₃ -	mg/L	0.46	1.00
Fosfatos	mg/L	nd	<0.038
Sulfatos. SO ₄ -2	mg/L	18.13	19.15

nd = no detectado

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 varían entre 238 y 375 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 221 y 335 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 6.13 y 6.85) y laboratorio (de 7.6 y 7.11). En el caso del punto M14, el valor de campo es inferior al de laboratorio. Considerando que, para dicho punto la media histórica es de alrededor de 7.2, se recomienda tomar como representativos los valores de laboratorio.

Los valores de turbidez de campo variaron entre 1.31 y 1.36 NTU, mientras los valores de turbidez de laboratorio varían de 0.8 a 1.4 NTU. La concentración de DQO en M14 (10.6 mg/L) excedió ligeramente el ECA establecido en 10 mg/L.

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

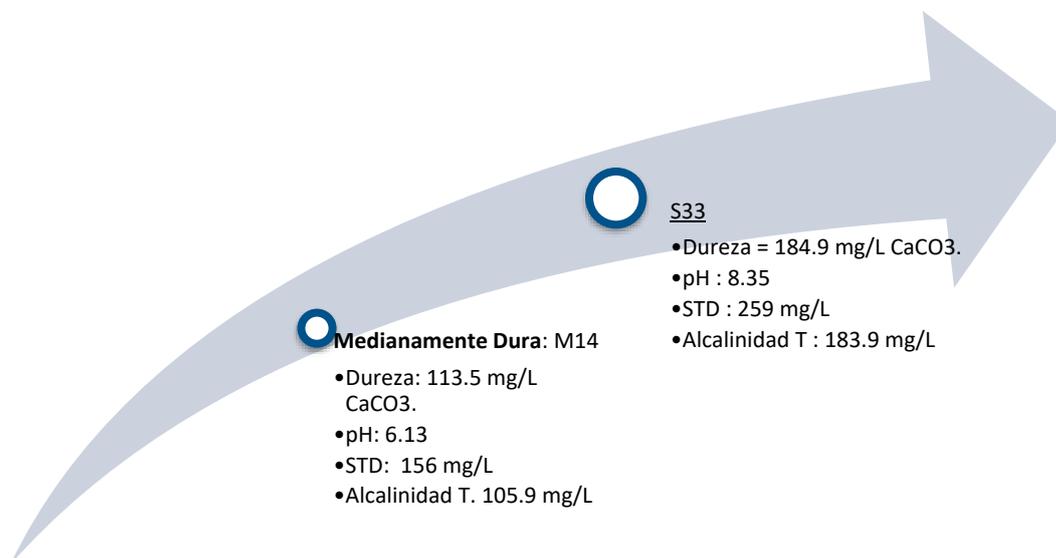


Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón promedio de 0.74. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 156 y 259 mg/L. La alcalinidad también presenta una relación directa con la conductividad eléctrica y fue en general menor en puntos con pH menor, con valores entre 105.9 y 183.9 mg/L.

Como se muestra en la Figura 4.2, la alcalinidad, conductividad, dureza y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo. 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 medianamente dura (M14) a muy dura (S33).

Figura 4.2 Clasificación de las aguas Categoría 1-A1 según su dureza, pH, STD y alcalinidad



En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito se presentaron por debajo del límite de detección analítico del laboratorio en todos los puntos de la categoría 1-A1. Las concentraciones de nitratos (como NO₃) variaron de 0.46 a 1 mg/L. Nitrógeno amoniacal solo fue detectado en S33 (0.013 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 18.13 y 19.5 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 1-A1. Las concentraciones de cloruros fueron de 0.371 y 0.505 mg/L y fue detectado en todos los puntos. Los fluoruros fueron detectados solo 9 puntos de monitoreo, en concentraciones inferiores a 0.111 mg/L. En ninguno de los casos se excedieron los ECA para la categoría 1-A1.

4.1.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.2 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 1-A1. 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, hierro, magnesio, manganeso, potasio, rubidio, sílice, silicio y sodio. El metal más abundante es el calcio con valores de 47.917 y 82.844 mg/L. Le sigue en importancia sílice, silicio, magnesio, sodio y potasio.

Ningún metal excedió los ECA para la categoría 1-A1.

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	nd	nd	0.033	<0.003
Antimonio	mg/L	nd	nd	nd	nd

Parámetro	Unidad	M14		S33	
		Metales totales	Metales disueltos	Metales totales	Metales disueltos
Arsénico	mg/L	nd	nd	nd	nd
Bario	mg/L	0.0227	0.0111	0.0072	0.0066
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	47.917	47.318	82.844	78.408
Cerio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cesio	mg/L	0.0005	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	0.0808	0.0752	0.0779	0.0741
Fósforo	mg/L	nd	nd	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Hierro	mg/L	0.03	0.0158	0.0327	0.0118
Lantano	mg/L	nd	nd	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Magnesio	mg/L	1.039	1.025	2.866	2.422
Manganeso	mg/L	0.00595	0.00511	0.00081	0.00061
Mercurio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Níquel	mg/L	nd	nd	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd	nd	nd
Potasio	mg/L	1.11	0.5	0.24	0.2
Rubidio	mg/L	0.0052	0.0029	nd	nd
Selenio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Sílice	mg/L	8.46	8.43	3.02	3
Silicio	mg/L	3.95	3.94	1.41	1.4
Sodio	mg/L	0.195	0.172	0.263	0.252
Talio	mg/L	0.00017	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	0.0007	nd
Uranio	mg/L	nd	nd	0.000251	0.000174
Vanadio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0408	0.0361	nd	nd
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 E. Coli, Vibrio Cholerae, formas parasitarias, Giardia duodenalis, larvas de helmintos, así como tampoco quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. Microcistina LR tampoco fue detectada.

Los coliformes totales y los coliformes fecales fueron detectados solo en S33, pero sin exceder los ECA. Los organismos de vida libre estuvieron presentes, en forma de algas, en 1 punto de monitoreo (M14), excediendo los ECA. Cabe indicar que M14 es un manantial abierto, sin ninguna estructura de protección.

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	33	0
Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	nd	7	0
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	nd	nd	1
Detección de Vibrio Cholerae	en 1 L	Ausencia	Ausencia	
Formas Parasitarias	Organismo/L	nd	nd	
Giardia duodenalis	Organismo/L	Ausencia	Ausencia	
Larvas De Helminto	Larvas/L	nd	nd	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Patógenos	Organismo/L	nd	nd	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Organismo/L	nd	nd	
Algas	Organismo/L	16	nd	1
Copépodos	Organismo/L	nd	nd	
Nematodos en todos sus Estadios Evolutivos	Organismo/L	nd	nd	
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	16	nd	1
Protozoarios	Organismo/L	nd	nd	
Rotíferos	Organismo/L	nd	nd	
Microcistina-LR	mg/L	nd	nd	

nd = no detectado

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para la temporada húmeda del 2019 incluye la toma de muestra en 4 muestras 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 para ríos y quebradas de la sierra. Como se puede observar, no se detectaron valores sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente total, sulfuro,

DBO₅, SAAMS, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuros, 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

Parámetros	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Parámetros de campo					
pH	Unidades pH	5	3.64	8.15	3
Conductividad	uS/cm	5	34.2	250.1	0
Redox (POR)	mV	5	14	574.3	0
Oxígeno disuelto	mg/L	5	6.9	8.3	0
Temperatura	°C	5	8.8	11	0
Turbidez	NTU	5	0.1	4.48	0
Caudal	L/s	5	0.23	324	0
Fisicoquímicos de laboratorio					
Color Verdadero	UC	4	2.1	14.1	
Turbidez	NTU	5	1.2	5.7	
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	2	76.3	109.5	
Bicarbonato	-	2	nd	108.9	
Conductividad	uS/cm	5	29	224.5	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	19	174	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	0	nd	nd	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	nd	nd	
Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	5	3.45	7.82	3
Amoniaco	mg NH ₃ /L	4	0.016	1.457	
Fósforo Total	mg P/L	5	0.016	0.053	1
Sulfuro	mgS ₂ -/l	0	nd	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	4	4.6	8.6	
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	4	0.093	0.315	
Fluoruros, F-	mg/L	5	0.008	0.034	
Nitritos, (como N)	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos, (como N)	mg/L	4	0.045	1.129	
Nitritos NO ₂ -	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos NO ₃ -	mg/L	4	0.197	4.995	
Fosfatos	mg/L	0	nd	nd	
Sulfatos, SO ₄ -2	mg/L	5	3.45	33.34	
Nitratos + Nitritos (como N)	mg/L	4	0.045	1.129	

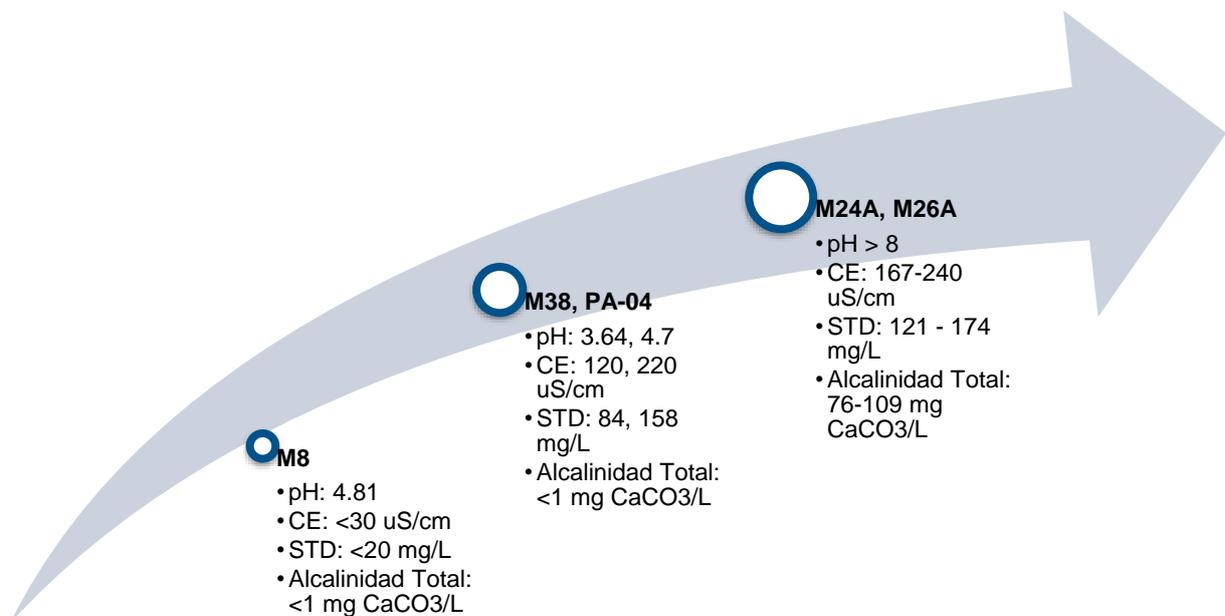
nd = no detectado

Los valores de pH registrados en campo variaron entre 3.64 y 8.15, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 3.45 y 7.82. Asimismo, los valores de conductividad registrados en campo varían entre 34.2 y 250.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 29 y 224.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mostrando en ambos casos concordancia.

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. El fósforo total excedió ligeramente la categoría 4-E2 en el punto M26A.

Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.72. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 19 y 174 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 (véase Figura 4.3).

Figura 4.3 Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad



La alcalinidad fue muy baja (<1 mg/L) en puntos que presentaron un pH ácido. El punto M8 presentó un pH ácido, alcalinidad nula y bajas valores de CE y STD. Los puntos M38 y PA-04 presenta un pH ácido, una alcalinidad nula, pero valores de CE y STD moderados a altos. La alcalinidad fue alta en aquellos puntos que presentaron un pH alcalino (M24A y M26A)

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito, estos no fueron detectados en ningún punto de monitoreo. Las concentraciones de nitratos (como NO₃) variaron de 0.197 a 4.995 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica, aunque es notoria su presencia en M38, probablemente relacionada con la mineralogía de la zona. Las concentraciones de amoníaco fueron en general bajas (de 0.016 a 0.023 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 3.45 y 33.34 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 0.093 a 0.315 mg/L y fue detectado solo en 4 puntos de monitoreo: M26A, M24A, M38 y M8. Los fluoruros fueron detectados en todos los puntos de monitoreo, en concentraciones de 0.008 a 0.034 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, sílice, silicio y sodio estuvieron presentes en todos los puntos de monitoreo. No se detectó la presencia de antimonio, berilio, bismuto, boro, cromo, estaño, fósforo, germanio, hafnio, lantano, lutecio, mercurio, niobio, plata, selenio, tantalio, telurio, thorio, vanadio, wolframio, yterbio, ni zirconio.

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

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	5	0.205	4.567	5	0.02	4.5
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	1	0.00177	0.00177	0	nd	nd
Bario	mg/L	5	0.0048	0.0234	5	0.0038	0.0115
Berilio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bismuto	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Boro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cadmio	mg/L	1	0.00299	0.00299	1	0.00234	0.00234
Calcio	mg/L	5	0.219	51.073	5	0.2	46.284
Cerio	mg/L	2	0.00033	0.00068	2	0.00027	0.0003
Cesio	mg/L	1	0.0005	0.0005	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	4	0.00014	0.01069	4	0.00008	0.00943
Cobre	mg/L	4	0.01556	0.08761	4	0.00695	0.05769
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	5	0.0035	0.0985	5	0.003	0.0892
Fósforo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Galio	mg/L	2	0.00012	0.00016	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	0.1313	2.1534	5	0.0275	0.9563
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	1	0.0009	0.0009	0	nd	nd
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	5	0.078	1.802	5	0.06	1.735
Manganeso	mg/L	5	0.01209	0.18591	5	0.00687	0.15508
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

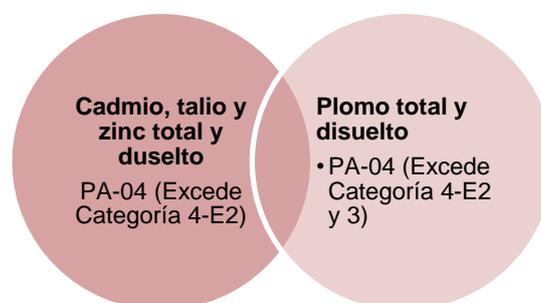
Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Níquel	mg/L	2	0.0052	0.0109	2	0.0036	0.009
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	2	0.0016	0.0998	2	0.0012	0.0881
Potasio	mg/L	4	0.27	2.61	2	0.43	1.4
Rubidio	mg/L	3	0.0013	0.0113	2	0.0011	0.0099
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	0	0
Sílice	mg/L	5	1.38	24.81	5	1.04	24.48
Silicio	mg/L	5	0.64	11.6	5	0.49	11.44
Sodio	mg/L	5	0.116	1.268	5	0.1	0.982
Talio	mg/L	1	0.02682	0.02682	1	0.01635	0.01635
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	0.0007	0.0039	0	nd	nd
Uranio	mg/L	1	0.000066	0.000066	0	nd	nd
Vanadio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Zinc	mg/L	4	0.0068	0.4146	4	0.0051	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 51.073 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.

El arsénico solo fue detectado en su forma total en 1 punto de monitoreo (M38). El cadmio solo fue detectado en PA-04, excediendo el ECA para la categoría. Las concentraciones de plomo total y disuelto excedieron los ECA para la categoría 4-E2 y para la Categoría 3 en PA-04. Además, las concentraciones de talio y zinc tanto totales como disueltas excedieron los ECA para la Categoría 4-E2 en PA-04 pero sin exceder los ECA para la categoría 3.

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. Los resultados mostrados en la tabla han sido comparados con los valores establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

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

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	3	2	7.8	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	2	2	4	
Detección y/o cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	0	nd	nd	

nd = no detectado

Los coliformes fecales fueron detectados en 3 puntos de monitoreo, pero con un máximo de 7.8 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de enterococos fecales, E. Coli, ni huevos de helmintos.

4.3 Pasivos ambientales

Durante la presente ronda de monitoreo se programó una muestra de pasivos ambientales: PA-02. PA-02 se encontró seco.

4.4 Evaluación Hidroquímica

La Tabla 4.10 presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de aguas naturales, expresados como miliequivalente. Con fines de complementar el balance iónico se han incluido fluoruros (F⁻) y nitratos (NO₃⁻²). 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	2.109	0.008	0.010	0.000	0.377	0.007	2.366	0.084	0.013	0.007	0.000
S33	3.673	0.005	0.014	0.003	0.399	0.016	3.920	0.199	0.005	0.011	0.000
PA-04	0.000	0.000	0.009	0.002	0.694	0.003	0.010	0.005	0.036	0.004	0.500
M26A	2.178	0.011	0.007	0.001	0.169	0.005	2.314	0.142	0.000	0.043	0.002
M24A	1.515	0.010	0.008	0.001	0.138	0.005	1.428	0.102	0.000	0.013	0.004
M38	0.000	0.000	0.000	0.001	0.300	0.081	0.105	0.042	0.000	0.007	0.252
M8	0.000	0.000	0.003	0.000	0.072	0.000	0.022	0.014	0.011	0.022	0.009

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, variando desde el 92% hasta el 96% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 94%. En el caso de las muestras PA-04 y M38 el

cación predominante fue el aluminio. En M8, este tuvo dos cationes con el mismo porcentaje de ocurrencia, Calcio y Sodio, ambos con 28% de la CCT. De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 89% 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 88% de la CAT. Vale resaltar que en el punto M38, si bien el anión predominante fue el sulfato, es notoria la presencia de nitrato, que representa el 21% de la CAT.

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	7.60	105.90	221.0	156.0	Ca	HCO ₃	Tipo I
S33	7.11	183.90	335.0	259.0	Ca	HCO ₃	Tipo I
PA-04	3.45	0.00	220.8	158.0	Al	SO ₄	Tipo IV
M26A	7.72	109.50	224.5	174.0	Ca	HCO ₃	Tipo I
M24A	7.82	76.30	158.6	121.0	Ca	HCO ₃	Tipo I
M38	3.59	0.00	121.2	84.0	Al	SO ₄	Tipo IV
M8	4.33	0.00	29.0	19.0	Ca-Na	SO ₄	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 - Cálcidas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M14, M26A, M24A. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (121 a 174 mg/L), una alcalinidad moderada (76.3 a 109.5 mg CaCO₃/L) y un pH alcalino (7.6 a 7.8). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras PA-04, M38, M8, M27, M22. Está caracterizada por presentar una baja a media concentración de STD, una alcalinidad muy baja (nula en este monitoreo) y un pH ácido (3.45 a 4.33). El catión no está claramente definido o es un catión que no es usualmente estándar como el aluminio. Así en PA-04 y M38 el catión predominante es el aluminio, aunque en M38 este es seguido del calcio. En M8 el calcio y el sodio tienen la misma proporción (28%) y son seguidos de magnesio y aluminio.

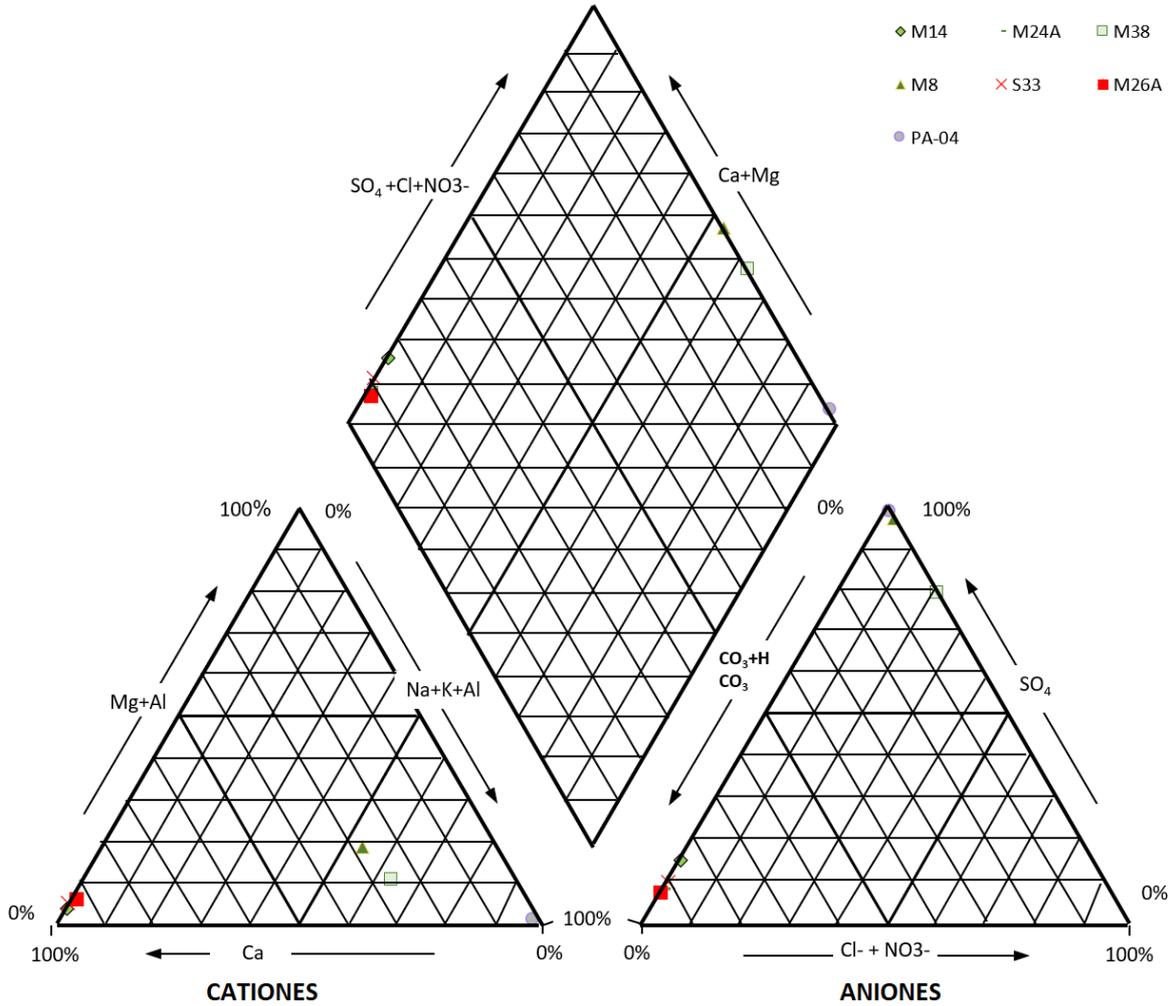
Figura 4.5 Clasificación hidroquímica



Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.6) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). En el campo triangular izquierdo se grafica el porcentaje de los valores de los tres grupos de cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO₃⁻,

CO3 -2 SO4-2 y Cl-). El diamante central es usado para mostrar todo el carácter químico del agua como un tercer punto.

Figura 4.6 Diagrama Piper



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 V tienen muy bajas concentraciones de STD y pH ácido.

5 Resultados en puntos con registro de solo parámetros de campo

5.1 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los puntos establecidos para el registro de solo parámetros de campo, dos (02) tienen como uso actual el riego de vegetales y consumo de animales y por tanto corresponden a aguas Categoría 3. 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 (μ S/cm)	TDS (mg/L)	POR (mV)	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	-	-	-
M13	21/11/2019	12:07:00	6.0	69.6	45.0	92.6	5.8	13.3	0.1	-
M35	24/11/2019	09:40:00	8.4	220.0	143.0	53.4	12.4	11.2	4.67	-

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

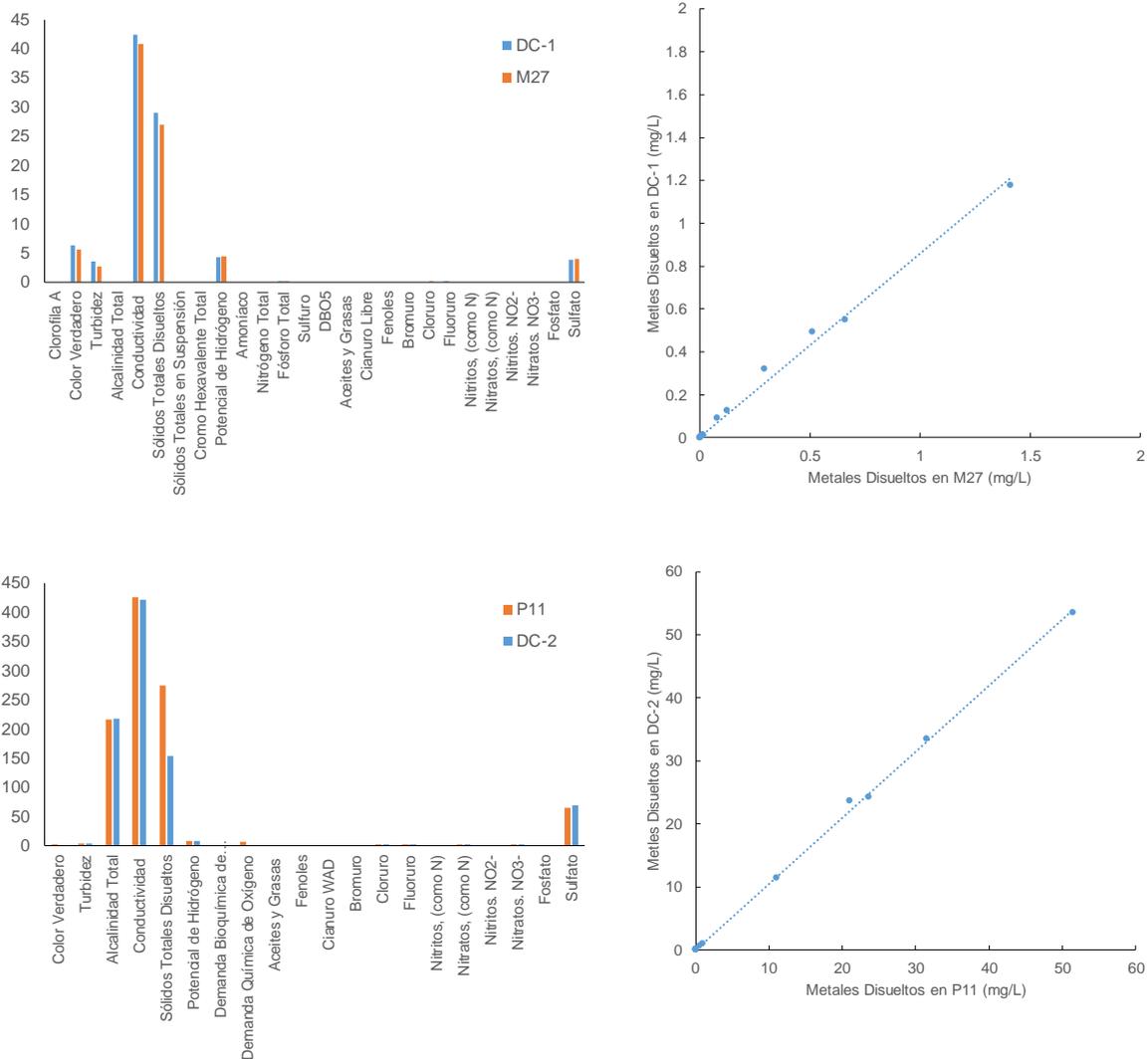
El pH de los puntos evaluados varió de ácido a alcalino (6.0 a 8.4). Los valores más ácidos se presentaron en M13 excediendo los ECA para la categoría 4. La conductividad eléctrica varió entre 69.6 y 220 uS/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 11.2 y 13.3 °C.

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 M29) 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 ultra pura (libre de iones) enviada al laboratorio para ser analizada del mismo modo que las muestras de agua superficial, con el propósito de identificar potencial contaminación durante el proceso de transporte, almacenamiento o análisis. El blanco fue llenado en campo y enviado al laboratorio con el resto las muestras.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a esta muestra son presentados en las tablas A.5. Como se puede observar los parámetros analizados han sido reportados como no detectados, excepto el calcio, sílice, silicio y sodio total y disuelto en el blanco de campo 2. Estos metales son los más abundantes y el valor detectado representaría un error marginal de precisión en el proceso analítico mas no una contaminación durante el transporte, almacenamiento o análisis de laboratorio, lo cual valida la confiabilidad del proceso.

6.2.2 Blanco viajero

La muestra etiquetada como blanco viajero es agua ultra pura (libre de iones) preparadas en el laboratorio y enviada junto con el resto de material (frascos) de muestreo. Esta fue colocada y transportada en los mismos contenedores que el resto de las muestras. El análisis de esta muestra tiene como propósito identificar potencial contaminación por el transporte y almacenamiento en campo.

Los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos y del análisis de metales totales del blanco viajero se muestran en la Tabla A.8. Los resultados muestran que tal como se esperaba, con excepción del sulfato en muy baja tasa, no se detectó 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:

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

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	\sum aniones meq/L	\sum cationes meq/L	\sum cat - \sum anio meq/L	DPR %
M14	2.51319	2.4702	-0.0430	-0.9%
S33	4.10988	4.1351	0.0252	0.3%
PA-04	0.70769	0.9099	0.2022	12.5%
M26A	2.37334	2.5014	0.1280	2.6%
M24A	1.67765	1.5470	-0.1306	-4.1%
M38	0.38151	0.6631	0.2816	27.0%
M8	0.07484	0.1244	0.0496	24.9%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de M38, todos los puntos cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS o por la APHA. Si bien esto no invalida los resultados, es importante que en lo sucesivo el laboratorio de análisis presente su propio balance iónico, elaborado siguiendo estándares (por ejemplo, efectuado en miliequivalentes). Esto permitirá revisar la sensibilidad de los equipos de laboratorio ante concentraciones bajas, como las que se presentan en la zona de estudio. Como un control adicional se ha verificado que los resultados se encuentren dentro del rango histórico reportado en los últimos 10 años.

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 0.64. Los valores de conductividad registrados en campo son similares a los obtenidos tras el análisis de laboratorio.

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

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 (19 - 259 mg/L). 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 pH en M14 y S33 mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 6.13 y 6.85) y laboratorio (de 7.6 y 7.11). En el caso del punto M14, el valor de campo es inferior al de laboratorio y excede los ECA para agua. Considerando que, para dicho punto la media histórica es de alrededor de 7.2, se recomienda tomar como representativos los valores de laboratorio.
- Los valores de turbidez de campo variaron entre 1.31 y 1.36 NTU, mientras los valores de turbidez de laboratorio varían de 0.8 a 1.4 NTU. La concentración de DQO en M14 (10.6 mg/L) excedió ligeramente el ECA establecido en 10 mg/L.
- Los coliformes totales fueron detectados en 10 de los puntos, mientras que los coliformes fecales o Los coliformes totales y los coliformes fecales fueron detectados solo en S33, pero sin exceder los ECA. Los organismos de vida libre estuvieron presentes, en forma de algas, en 1 punto de monitoreo (M14), excediendo los ECA. Cabe indicar que M14 es un manantial abierto, sin ninguna estructura de protección.

Aguas Categoría 3:

- Los puntos M8, M38 y PA-04 y M21B presentaron valores de pH campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1. El fósforo total excedió ligeramente la categoría 4-E2 en el punto M26A.
- El arsénico solo fue detectado en su forma total en 1 punto de monitoreo (M38). El cadmio solo fue detectado en PA-04, excediendo el ECA para la categoría. Además, las concentraciones de talio y zinc tanto totales como disueltas excedieron los ECA para la Categoría 4-E2 en 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.
- Los coliformes fecales fueron detectados en 3 puntos de monitoreo, pero con un máximo de 7.8 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de enterococos fecales, E. Coli, ni huevos de helmintos.

Pasivos ambientales.

- Durante la presente ronda de monitoreo se programó una muestra de pasivos ambientales: PA-02. PA-02 se encontró seco.

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

- El pH de los puntos evaluados varió de ácido a alcalino (6.0 a 8.4). Los valores más ácidos se presentaron en M13 excediendo los ECA para la categoría 4. La conductividad eléctrica varió entre 69.6 y 220 uS/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 11.2 y 13.3 °C.

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

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcidas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M14, M26A, M24A. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (121 a 174 mg/L), una alcalinidad moderada (76.3 a 109.5 mg CaCO₃/L) y un pH alcalino (7.6 a 7.8). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras PA-04, M38, M8, M27, M22. Está caracterizada por presentar una baja a media concentración de STD, una alcalinidad muy baja (nula en este monitoreo) y un pH ácido (3.45 a 4.33). El catión no está claramente definido o es un catión que no es usualmente estándar como el aluminio. Así en PA-04 y M38 el catión predominante es el aluminio, aunque en M38 este es seguido del calcio. En M8 el calcio y el sodio tienen la misma proporción (28%) y son seguidos de magnesio y aluminio.

En base a los controles de calidad aplicados, se puede indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento y transporte no han generado distorsión en las muestras y los análisis pueden ser considerados representativos. Asimismo, el control de calidad de resultados de laboratorio indica que estos pueden ser considerados representativos de las muestras, aunque es necesario que el laboratorio de análisis presente su propio balance iónico junto con los resultados emitidos para de esa manera cerrar su proceso.

Se recomienda tomar contacto con los operadores de las captaciones de agua para consumo doméstico en las que se han detectado presencia de coliformes fecales y la presencia de otros microbiológicos, 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.