PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA SECA 2020

INFORME ZONA I

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**	**7**
3.1	Muestreo para el análisis de laboratorio	9
3.2	Control de calidad	11
3.3	Estándares y guías aplicadas	12
3.4	Laboratorio de análisis	12
4	**RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA**	**14**
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	14
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	14
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	16
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	17
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	18
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	18
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	20
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	22
4.3	Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4	22
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos	22
4.3.2	Inorgánicos (Metales)	23
4.3.3	Microbiológicos y parasitológicos	25
4.4	Agua subterránea	25
4.5	Evaluación Hidroquímica	25
5	**RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETROS DE CAMPO**	**29**
5.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	29
5.2	Aguas superficiales, Categorías 3 y 4	29
6	**CONTROL DE CALIDAD**	**31**
6.1	Duplicado de muestra	31
6.2	Blancos	32

6.2.1 Blanco de campo 32
6.2.2 Blanco viajero 32
6.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio 32
6.3.1 Balance iónico 32
6.3.2 Revisión cruzada de parámetros 34

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35

8 REFERENCIAS 37

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 7
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo 8
Tabla 3.3 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría 10
Tabla 3.4 Listado de muestras de control de calidad 11
Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio 12
Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 14
Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1 16
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 y 4 20
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 22
Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4 22
Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4 24
Tabla 4.9 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 25
Tabla 4.10 Iones principales y tipos de agua 26
Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 1-A1 29
Tabla 5.2 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4 30
Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico 33
Tabla 6.2 Balance iónico 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo 9
Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1 15

Figura 4.2 Parámetros microbiológicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1..... 17
Figura 4.3 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3..... 19
Figura 4.4 Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad 20
Figura 4.5 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4..... 23
Figura 4.6 Clasificación hidroquímica..... 27
Figura 4.7 Diagrama Piper..... 28
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado..... 31

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 las quebradas Hierbabuena, Chamcas y Yanacocha. 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:

- 05 de agosto de 2020, Sr. Nolberto Huaripata Guevara presidente de la JASS del caserío Yerba Buena Alta y Melquiades Ayala Gonzáles, presidente de la JASS del caserío Chamcas
- 06 de agosto de 2020, Sr. William Huamán Soto, presidente de la JASS del caserío El Pedregal.

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 I						
M9B	794068	9225738	3735	Tanque #1 ACD Chamcas	1-A1	Si
M9C	794626	9225346	3790	Tanque #2 ACD Chamcas	1-A1	Si
PIA1	793377	9225583	3554	Caja de reunión del Proyecto PIASAA	1-A1	Si
S12	793481	9227024	3930	Guagayoc, tanque de ACD	1-A1	Si
S22	792958	9227677	3833	ACD en la escuela de YB Alta	1-A1	Si
S22C	793192	9227478	3936	Nuevo tanque ACD YB Alta	1-A1	Si
S23	791362	9228701	3864	ACD en El Porvenir de YB	1-A1	Si
S24T	792009	9227904	3770	Nuevo tanque de ACD en San Juan de YB	1-A1	Si
S30A	792294	9221146	3609	Tanque de ACD de Sogorón Alto	1-A1	Si
S32A	794470	9223170	3647	Tanque de ACD en Rodacocha	1-A1	Si
S34	792982	9223866	3565	Tanque de ACD en El Pedregal	1-A1	Si
M1	793714	9225861	3596	Qda. Chamcas	3 y 4	Sin flujo
M17	790736	9226450	3512	Qda. Hierbabuena	3 y 4	Si
M2	794606	9226799	3768	Qda. Kerosene	3 y 4	Si
M21	791571	9222394	-	Río Grande	3 y 4	Si
M21B	793585	9223606	3418	Qda. Yanacocha	3 y 4	Si
M22	796527	9226652	3756	Laguna Mamacocha	4-E1	Si
P11	791992	9227158	3645	Piezómetro artesiano	A. Sub.	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 del Punto M1 debido a la ausencia de flujo. Solo presentó pequeñas zonas empozadas.

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 I						
S1	793911	9225445	3661	Manantial El Ojo del Peje (PIASAA)	1-A1	Si
S2	793663	9225816	3594	Manantial Puente Viejo (PIASAA)	1-A1	Si
S3	793657	9225755	3599	Manantial El Moro (PIASAA)	1-A1	Si
S4	793545	9225701	3593	Manantial La Peña Mala (PIASAA)	1-A1	Si
S5	793472	9225714	3593	Manantial La Chilca (PIASAA)	1-A1	Si
S6	793387	9225615	S/D	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	1-A1	Sin flujo

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
S7	793380	9225602	3556	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	1-A1	Si
S8	793414	9226125	3692	Manantial El Derrumbe (PIASAA)	1-A1	Si
S20A	793125	9224765	3518	Manantial en terreno Sra. M. Chávez	3	Si
S20B	793351	9224885	3550	Manantial en terreno Sr. Genaro Ocas	3	Si
S21A	794318	9224627	3627	Manantial en terreno Sr. Elías Palacio	3	Si
S21B	794441	9224647	3575	Manantial en terreno Sra. M. Lucano	3	Si
S21C	794635	9224686	3598	Manantial en terreno Sr. Emeregildo,	3	Si
S21D	794645	9224761	3626	Manantial en terreno Sr. Emeregildo,	3	Si
S21E	794768	9224768	3633	Manantial en terreno Sr. A. Cabrera	3	Si
S30B	796489	9225343	3858	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	Sin flujo
S30C	796496	9225116	3818	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	Si
S30D	796373	9225063	3783	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	Si
S34A	795311	9224771	3693	Capt. agua para riego El Pedregal	3	Si
S34B	794865	9224496	3641	Captación de ACD El Pedregal	1-A1	Si
M37	794005	9227270	3913	Bofedal Pajablanca	3	Si
M4	795021	9228060	3968	Laguna Cama de los Shingos	4 E1	Si
M5	795644	9227329	3891	Laguna Kerosene	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 S30B. Sin flujo, agua empozada
- Punto S6. Manantial El Suro, el mismo que se encuentra seco.

3 Medición de parámetros in-situ y aforos

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

Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
S21E	6.17	46.7	6.32	13.6	1.53
S21D	5.91	31.6	5.59	12.0	0.6
S21C	6.10	34.1	6.81	12.7	2.56
S21B	7.62	34.5	5.04	14.0	3.8
S21A	8.32	301.0	8.94	16.5	13.8
M37	5.99	3.0	4.65	13.1	0.97
M4	5.29	6.1	6.61	13.5	0.71
M5	5.11	7.3	7.31	14.5	1.55
S23	7.27	304.0	6.52	11.3	0.25
S24T	7.30	379.0	6.87	13.0	0.25
P11	7.45	390.0	2.93	16.5	0.41
M17	7.84	319.0	7.28	16.0	4.22
M21	8.33	325.0	7.83	17.0	1.73
M21B	7.11	33.3	7.09	12.9	1.74
M2	4.75	29.2	7.55	8.3	0.89
PIA-1	7.37	410.0	6.84	13.0	0.48
S1	6.92	50.6	6.28	13.1	5.21
S7	7.33	408.0	6.09	12.8	0.47
S8	7.39	421.0	5.92	12.4	0.33
S5	7.22	407.0	6.68	12.5	0.18
S4	7.52	413.0	6.52	13.8	0.66
S3	5.67	33.3	6.55	13.9	1.46
S2	7.22	193.8	5.84	13.2	0.36
S20A	4.37	416.0	5.79	14.8	7.35
S20B	7.31	425.0	3.35	15.6	2.19
S22C	7.39	168.2	7.16	11.5	0.59
S22	7.02	109.1	6.18	12.5	1.86
S12	7.83	223.0	6.72	12.5	0.45
M9B	7.38	48.1	6.85	13.5	0.29
M9C	7.36	64.6	6.55	11.5	0.23
S34	4.70	15.4	6.49	13.0	0.2

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
S30C	4.39	49.0	6.46	11.0	0.28
S30D	4.46	46.3	5.46	9.3	1.61
S34A	4.97	7.6	6.75	12.2	0.18
S34B	4.83	11.7	6.14	12.9	0.11
S30A	3.72	60.2	7.10	11.2	0.25
S32A	5.44	9.6	6.82	13.5	0.51
M22	4.06	44.0	7.77	5.6	13.7

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

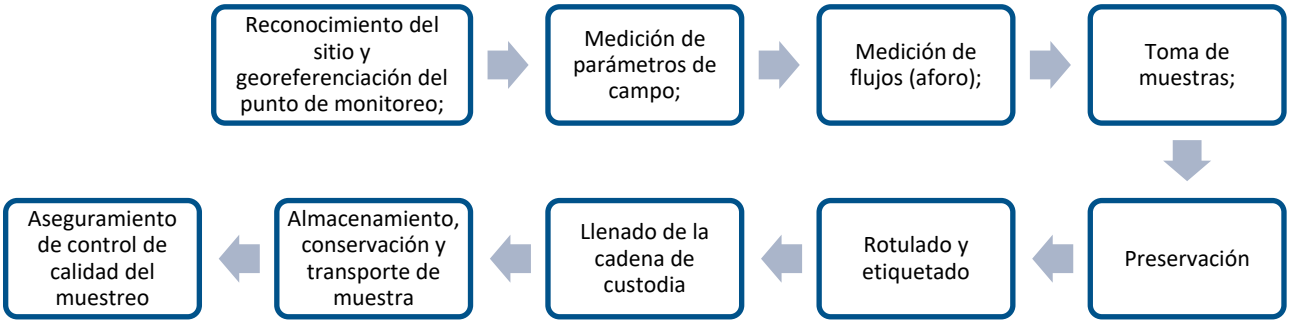
Punto	Caudal (L/s)	Comentario
S23	0.95	--
S24T	1.11	--
PIA1	5.08	--
S22	0.49	--
S12	0.08	--
S22C	--	Tanque. No es posible aforar
S34	--	Tanque. No es posible aforar
M9B	0.25	--
M9C	0.07	--
S30A	--	Tanque. No es posible aforar
S32A	1.18	--
M17	3.33	--
M21B	34.39	--
M21	186.38	--
M2	3.38	--
M22	--	Laguna
P11	--	Piezómetro
S21E	0.51	--
S21D	0.52	--
S21C	0.51	--

Punto	Caudal (L/s)	Comentario
S21B	--	Empozado. Sin flujo
S21A	--	Empozado. Sin flujo
M37	0.80	
M4	--	Laguna
M5	--	Laguna
S1	0.57	--
S7	3.90	--
S8	0.35	--
S5	0.07	--
S4	0.13	--
S3	0.26	--
S2	0.11	--
S6	--	Seco
S20B	0.10	--
S20A	0.12	--
S30B	--	Sin flujo, agua empozada
S30C	0.80	--
S30D	0.59	--
S34A	4.07	--
S34B	2.11	--
M1	0.15	Sin flujo

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		
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		

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	Asub	BK
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
S23	MA2012109	02/08/2020	09:30
S24T	MA2012109	02/08/2020	10:50
PIA-1	MA2012289	03/08/2020	11:30
S12	MA2012565	05/08/2020	11:00
S22C	MA2012565	05/08/2020	08:55
S22	MA2012565	05/08/2020	09:45
S34	MA2012565	05/08/2020	15:40
M9B	MA2012565	05/08/2020	13:00
M9C	MA2012565	05/08/2020	14:05

Punto	Informe de Ensayo	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
S30A	MA2012567	06/08/2020	11:45
S32A	MA2012567	06/08/2020	13:20
M17	MA2012101	02/08/2020	13:50
M21B	MA2012101	02/08/2020	15:50
M21	MA2012101	02/08/2020	14:50
M2	MA2012290	03/08/2020	08:40
M22	MA2012607	07/08/2020	09:15
P11	MA2012066	02/08/2020	12:20

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 11 puntos con Categoría 1-A1 (véase Tabla 2.1). Se efectuaron los 11 puntos programados. Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo. Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), 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

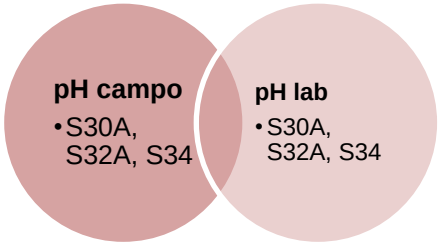
Punto	Unidades	# ocurrencias	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Color Verdadero	UC	0	nd	nd	
Turbidez (Laboratorio)	NTU	9	0.2	0.8	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	10	1.6	225.3	
Dureza Total	mg CaCO3/L	11	2.4	238.6	
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	11	13.1	428	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	11	6	251	
pH (Laboratorio)*	pH	11	4.16	8.2	Si
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	10	0.012	1.2	
Fósforo Total	mg P/L	1	0.018	0.018	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	0	nd	nd	
Aceites y Grasas	mg/L	0	nd	nd	
Cianuro Total	mg/L	0	nd	nd	
Fenoles	mg/L	0	nd	nd	
Bromuro, Br-	mg/L	0	nd	nd	
Cloruros. Cl-	mg/L	10	0.062	1.77	
Fluoruros. F-	mg/L	3	0.01	0.139	
Nitritos, (como N)	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos, (como N)	mg/L	7	0.076	0.221	
Nitritos. NO2-	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos. NO3-	mg/L	7	0.338	0.976	
Fosfatos	mg/L	0	nd	nd	
Sulfatos. SO4-2	mg/L	11	0.98	33.979	

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 varían entre 9.64 y 410 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 13.1 y 428 µS/cm. El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 3.72 a 7.83) y laboratorio (de 4.16 a 8.2).

El pH medido tanto en campo como en laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en los puntos S30A, S32A y S34. El agua de estos puntos procede de la misma ubicación geográfica y las características de acidez estaría relacionada con la geología de la zona.

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 0.57.

Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 6 y 251 mg/L. La alcalinidad también presenta una relación directa con la conductividad eléctrica y fue nula en puntos con pH ácido, baja (<50 mg/L) en aquellos puntos con pH alrededor de 7 y en el resto de los puntos fue clasificado como media a alta. En general 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 (CaCO3), 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 blanda (puntos S22, M9B, M9C, S30A, S32A y S34) a muy dura (PIA-1, S23, S24T y S33). La alcalinidad fue baja (<50 mg CaCO3/L) en aquellos puntos con pH menor o alrededor de 7. En el resto de los puntos fue clasificado como media a alta con valores entre 93 y 225 mg CaCO3/L.

Las concentraciones de nitratos (como NO_3) variaron de 0.338 a 0.976 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica, aunque con mayor presencia porcentual en las aguas monitoreadas en S34 y S32A. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron en general bajas (de 0.012 a 1.2 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 0.98 y 33.979 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 1-A1 siendo el anión predominante en S30A, S32A y S34. Las concentraciones de cloruros varían de 0.062 a 1.77 mg/L y fue detectado en todos los puntos salvo S30A. Los fluoruros fueron detectados solo en 4 puntos: S33, S23, S24T y M9C, en concentraciones de 0.01 a 0.139 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 11 muestras son: 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 0.391 a 90.94 mg/L. Le sigue en importancia el silicio, magnesio, sodio y potasio. Solo el aluminio total excedió ligeramente los ECA para la Categoría 1-A1 en el punto S30A. La presencia de aluminio en S30A ha sido notada en todos los monitoreos precedentes, aunque es la primera vez que supera el ECA. Estaría relacionada a la zona mineralizada.

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

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	4	0.041	0.938	4	0.025	0.861
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bario	mg/L	10	0.0028	0.0233	10	0.0022	0.0229
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	0.00096	0.00096	1	0.0009	0.0009
Calcio	mg/L	11	0.568	91.218	11	0.391	90.942
Cerio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cesio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	3	0.00014	0.00188	3	0.0001	0.00158
Cobre	mg/L	1	0.00257	0.00257	1	0.001	0.001
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	11	0.0025	0.2213	11	0.0024	0.1943
Fósforo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Galio	mg/L	1	0.00014	0.00014	1	0.00013	0.00013
Germanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hafnio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hierro	mg/L	10	0.0021	0.2978	10	0.0015	0.198
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	3	0.0009	0.0016	2	0.001	0.0014
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	11	0.163	6.026	11	0.105	6.004
Manganeso	mg/L	8	0.00088	0.0575	7	0.00076	0.05147
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	1	0.0002	0.0002	1	0.00014	0.00014
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	1	0.0018	0.0018	1	0.0017	0.0017
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Plomo	mg/L	1	0.0071	0.0071	1	0.0066	0.0066
Potasio	mg/L	10	0.14	0.67	10	0.13	0.64
Rubidio	mg/L	2	0.001	0.0021	1	0.0021	0.0021
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	11	5.53	20.96	11	5.3	19.34
Silicio	mg/L	11	2.58	9.8	11	2.48	9.04
Sodio	mg/L	11	0.107	4.505	11	0.099	4.415
Talio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Tantalio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Teluro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Thorio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Titanio	mg/L	7	0.0008	0.0022	6	0.0007	0.0021
Uranio	mg/L	3	0.000095	0.000159	3	0.000084	0.000133
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	11	0.0031	0.137	9	0.0026	0.1167
Zirconio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

nd = no detectado

4.1.3 Microbiológicos y parasitológicos

La Tabla 4.3 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros microbiológicos y bacteriológicos. No se detectaron coliformes termotolerantes, E. Coli, Vibrio Cholerae, formas parasitarias, huevos de helmintos, 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 2 puntos de monitoreo (S23 y S32A) en forma de algas. El punto con mayor presencia de algas fue S32A (4 organismos/L). En este punto se requeriría una mayor atención a la limpieza de tanques.

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

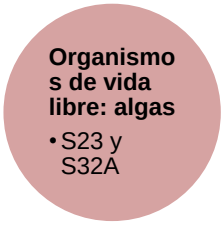


Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	4	2	4.5	
Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	0	nd	nd	

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Detección de Vibrio Cholerae	en 1 L	0	nd	nd	
Formas Parasitarias	Organismo/L	0	nd	nd	
Giardia duodenalis	Organismo/L	0	nd	nd	
Larvas De Helminto	Larvas/L	0	nd	nd	
Nematodos intestinales	Organismo/L	0	nd	nd	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Pat.	Organismo/L	0	nd	nd	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Pat.	Organismo/L	0	nd	nd	
Algas	Organismo/L	4	nd	4	Si
Copépodos	Organismo/L	0	nd	nd	
Nematodos en todos sus estadios evolutivos	Organismo/L	0	nd	nd	
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	4	nd	4	Si
Protozoarios	Organismo/L	0	nd	nd	
Rotíferos	Organismo/L	0	nd	nd	
Microcistina-LR	mg/L	0	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 la temporada seca del 2020 incluye la toma de muestra en 4 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, DQO, SAAM, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuro 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

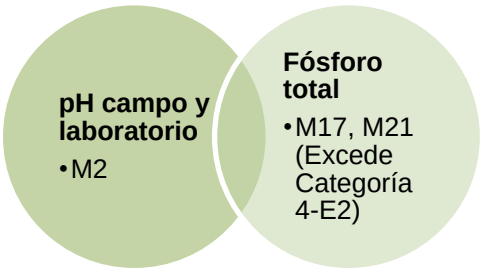
Físico - químicos	Unidad	# de ocurrencias	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Color Verdadero	UC	1	14.1	14.1	
Turbidez	NTU	4	1.3	3.7	
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	3	7.6	182.1	
Conductividad	uS/cm	4	34.2	350	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	4	19	219	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	0	0	0	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	0	0	
Potencial de Hidrógeno	pH	4	3.93	8.38	1
Amoníaco	mg NH3/L	3	0.024	0.194	
Fósforo Total	mg P/L	3	0.017	0.135	2
Sulfuro	mgS2-/l	0	0	0	

Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	0	0	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	3	6	10.6	
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	0	0	0	
Aceites y Grasas	mg/L	0	0	0	
Cianuro Libre	mg/L	0	0	0	
Fenoles	mg/L	0	0	0	
Cianuro WAD	mg/L	0	0	0	
Bromuro, Br-	mg/L	0	0	0	
Cloruros, Cl-	mg/L	3	0.094	1.483	
Fluoruros, F-	mg/L	3	0.044	0.168	
Nitritos, (como N)	mg/L	1	0.004	0.004	
Nitratos, (como N)	mg/L	3	0.017	0.035	
Nitritos NO2-	mg/L	1	0.011	0.011	
Nitratos NO3-	mg/L	3	0.073	0.155	
Fosfatos	mg/L	0	0	0	
Sulfatos, SO4-2	mg/L	4	5.01	34.65	

nd = no detectado

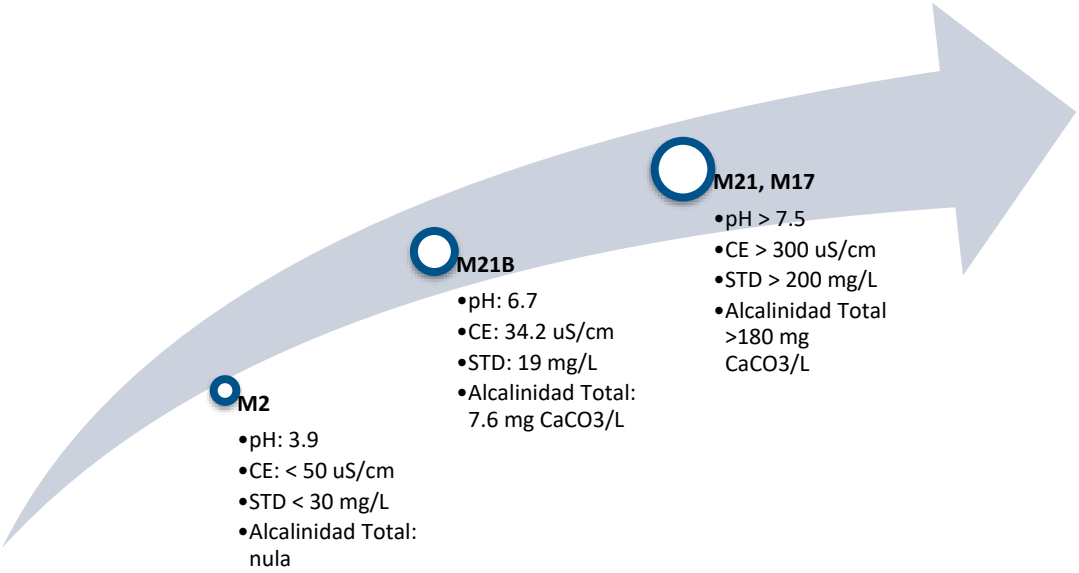
Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 29.2 y 325 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 34.2 y 350 µS/cm mostrando en ambos casos concordancia. Los valores de pH registrados en campo variaron entre 3.64 y 8.15, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 3.78 y 8.38. El punto M2 presentó valores de campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1. Este punto está influenciado por de zonas mineralizadas lo que explicaría su bajo pH. El fósforo total excedió ligeramente la categoría 4-E2 en los puntos M17 y M21 (ver Figura 4.3). En los cursos de agua la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes; y en oportunidades a características del propio suelo.

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



Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad (r^2 = 0.99) con una razón promedio de 0.59. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 19 y 219 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.

Figura 4.4 Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad



En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito fueron detectadas en 1 puntos: M21. Las concentraciones de nitratos (como NO_3) variaron de 0.073 a 0.155 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. Las concentraciones de amoniaco fueron en general bajas (de 0.024 a 0.194 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 5 y 34.65 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 3 siendo el anión predominante en M2. Las concentraciones de cloruros varían de 0.064 a 1.483 mg/L y fue detectado en todos los puntos salvo M2. Los fluoruros fueron detectados en 3 puntos: M21, M21B y M17, en concentraciones de 0.044 a 0.168 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	4	0.052	0.626	3	0.044	0.378
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Arsénico	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bario	mg/L	4	0.0069	0.0236	4	0.0066	0.0207
Berilio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bismuto	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Boro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cadmio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Calcio	mg/L	4	0.555	77.487	4	0.419	68.544
Cerio	mg/L	1	0.00027	0.00027	0	nd	nd
Cesio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	3	0.00011	0.00174	2	0.00041	0.00165
Cobre	mg/L	2	0.00713	0.0443	2	0.0024	0.03601
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	4	0.0043	0.2964	4	0.0043	0.2449
Fósforo	mg/L	2	0.07	0.133	2	0.05	0.128
Galio	mg/L	3	0.00012	0.00014	0	nd	nd
Germanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hafnio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hierro	mg/L	4	0.1156	1.0961	4	0.0043	0.05
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	4	0.441	5.879	4	0.377	5.206
Manganeso	mg/L	4	0.00748	0.08729	4	0.00086	0.06167
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	2	0.0005	0.00063	2	0.0004	0.00059
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	2	0.0009	0.0017	2	0.0008	0.0017
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Potasio	mg/L	4	0.46	1.24	4	0.45	1.21
Rubidio	mg/L	4	0.0011	0.0033	2	0.0011	0.0024
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	4	7.36	8.62	4	6.2	7.39
Silicio	mg/L	4	3.44	4.03	4	2.9	3.45
Sodio	mg/L	4	0.49	2.313	4	0.312	2.125
Talio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Tantalio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Teluro	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Thorio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Titanio	mg/L	3	0.0007	0.002	3	0.0007	0.0016
Uranio	mg/L	2	0.000245	0.000321	2	0.000211	0.000281
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	0.0034	0.0199	4	0.0028	0.0176
Zirconio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

nd: no detectado

El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.555 a 77.487 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. No se excedieron los ECAs para esta categoría.

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.

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	1	2	2	
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

Los coliformes fecales fueron detectados en M17, pero con un máximo de 4.5 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de enterococos fecales, E. Coli, ni huevos de helmintos.

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4

El programa de monitoreo semestral de LC para el año 2020 incluye la toma de muestra en M22. La Tabla A.3 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

4.3.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.7 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos analizados en M22.

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

Parámetros	Unidad	M22
Clorofila A	mg/L	nd
Color Verdadero	UC	nd
Turbidez	NTU	11.2
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	nd
Conductividad	uS/cm	40.7
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	23
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	19
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd
Potencial de Hidrógeno	pH	4.38
Amoníaco	mg NH3/L	0.017
Nitrógeno Total	mg N/L	0.44
Fósforo Total	mg P/L	nd
Sulfuro	mgS2-/l	nd

Parámetros	Unidad	M22
DBO5	mg/L	nd
Aceites y Grasas	mg/L	nd
Cianuro Libre	mg/L	nd
Fenoles	mg/L	nd
Bromuro	mg/L	nd
Cloruro	mg/L	0.055
Fluoruro	mg/L	nd
Nitritos, (como N)	mg/L	nd
Nitratos, (como N)	mg/L	nd
Nitritos. NO2-	mg/L	nd
Nitratos. NO3-	mg/L	nd
Fosfato	mg/L	nd
Sulfato	mg/L	8.58
Fosfato	mg/L	8.58
Clorofila A	mg/L	nd

nd = no detectado

Como se puede observar, no se detectaron valores de clorofila, color verdadero, cromo hexavalente total, sulfuro, DBO5, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, bromuro, nitritos, fostatos ni clorofila A. El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA. Esto se debería a que se encuentran alrededor del área mineralizada.

Figura 4.5 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4

La conductividad de campo fue 44 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio 40.7 µS/cm. Las concentraciones de sólidos totales disueltos fue 23 mg/L. Los sólidos totales en suspensión solo fueron detectados en M22. Los sulfatos fueron el anión predomínate en M22.

4.3.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.8 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 4. Ningún metal excedió los ECA para la categoría.

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

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

Parámetro	Unidad	Metales totales en M22	Metales disueltos en M22
Aluminio	mg/L	0.62	0.437
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	0.00905	nd
Bario	mg/L	0.0036	0.0034
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	1.098	1.061
Cerio	mg/L	nd	nd
Cesio	mg/L	nd	nd
Cobalto	mg/L	0.00089	0.00084
Cobre	mg/L	0.00384	0.00226
Cromo	mg/L	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.008	0.007
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	1.795	0.0537
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	0.0009
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	0.557	0.503
Manganeso	mg/L	0.02087	0.02006
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd
Níquel	mg/L	0.0015	0.0011
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd
Potasio	mg/L	0.39	0.32
Rubidio	mg/L	0.0012	0.0011
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	0.4	nd
Silicio	mg/L	0.19	nd
Sodio	mg/L	0.302	0.226
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	0.0028	nd
Uranio	mg/L	nd	nd
Vanadio	mg/L	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales totales en M22	Metales disueltos en M22
Zinc	mg/L	0.0219	0.018
Zirconio	mg/L	nd	md

nd: no detectado

4.3.3 Microbiológicos y parasitológicos

Se tomaron muestras para el análisis de coliformes fecales y estos no fueron detectados.

4.4 Agua subterránea

La Tabla A.4 muestra los resultados de los análisis de laboratorio de los principales constituyentes para aguas subterráneas, incluyendo cationes y aniones principales, parámetros microbiológicos, cianuros, compuestos de nitrógeno, metales y parámetros de campo.

De manera similar a lo observado en el agua superficial, la muestra de agua subterránea exhibe moderada a alta concentración de STD (272 mg/L). La conductividad de la muestra fue de 419 µS/cm en laboratorio y 390 en campo. La relación STD/Conductividad observada en la muestra de agua subterránea es igual a 0.65, valor similar al observado en el caso de las aguas superficiales. El pH medido tanto en campo como en laboratorio fue ligeramente alcalino (7.45 y 7.86 respectivamente).

En cuanto a los análisis de metales, las muestras de agua de subterránea exhiben la presencia de diversos metales incluyendo: bario, boro, calcio, estroncio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio, titanio y zinc. Calcio, estroncio, magnesio, sílice, silicio y sodio registraron las mayores concentraciones de metales, con una concentración de más de 1 mg/L, el boro, el hierro y el potasio estuvieron presentes en concentraciones mayores que 0.1 mg/L pero menores que 1 mg/L, mientras que el bario registró una concentración mayor que 0.01 mg/L. El resto de los metales detectados estuvieron presentes como trazas.

Solo el oxígeno disuelto se encontró fuera del rango indicado por los ECA para la Categoría 3 (referencial), lo cual es esperable en muestras de agua subterránea debido a su estanqueidad.

4.5 Evaluación Hidroquímica

La Tabla 4.9 presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de aguas naturales, expresados como miliequivalente. Con fines de complementar el balance iónico se ha incluido se han incluido fluoruros (F^-) y nitratos (NO_3^{-2}). Esto debido a que dichos iones han sido detectados en importante porcentaje con respecto al resto. En monitoreos anteriores se incluyó el aluminio en la lista de cationes, pero con fines de mantener el estándar aceptado académicamente, en este monitoreo dicho metal no ha sido considerado.

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

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
S23	3.712	0.016	0.004	0.002	0.090	0.000	3.504	0.364	0.016	0.050	0.000

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
S24T	3.972	0.019	0.027	0.007	0.707	0.000	4.036	0.363	0.014	0.044	0.000
PIA-1	4.490	0.015	0.050	0.000	0.502	0.002	4.547	0.483	0.012	0.111	0.004
S12	2.424	0.039	0.014	0.000	0.397	0.004	1.872	0.492	0.012	0.132	0.000
S22C	1.841	0.029	0.013	0.000	0.161	0.001	1.377	0.294	0.008	0.111	0.000
S22	0.897	0.003	0.003	0.000	0.180	0.001	0.710	0.325	0.011	0.192	0.000
S34	0.032	0.000	0.002	0.000	0.040	0.003	0.020	0.009	0.000	0.004	0.003
M9B	0.537	0.001	0.003	0.000	0.020	0.001	0.335	0.133	0.006	0.062	0.000
M9C	0.718	0.001	0.002	0.001	0.046	0.000	0.449	0.174	0.006	0.085	0.000
S30A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.253	0.000	0.042	0.017	0.013	0.004	0.096
S32A	0.040	0.000	0.003	0.000	0.059	0.003	0.031	0.013	0.003	0.007	0.010
M17	3.539	0.059	0.022	0.009	0.386	0.002	3.427	0.427	0.031	0.052	0.000
M21B	0.152	0.000	0.003	0.002	0.145	0.000	0.197	0.060	0.012	0.026	0.006
M21	3.554	0.085	0.042	0.006	0.721	0.003	3.361	0.363	0.020	0.092	0.005
M2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.104	0.001	0.021	0.031	0.014	0.014	0.042
M22	0.000	0.000	0.002	0.000	0.179	0.000	0.053	0.041	0.008	0.010	0.049
P11	4.481	0.013	0.032	0.006	0.989	0.012	1.978	1.490	0.018	1.080	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 14 de las 17 muestras. De manera similar, el bicarbonato es el anión predominante en 14 de las 17 muestras de agua.

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

Tabla 4.10 Iones principales y tipos de agua

Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
S23	7.63	186.40	341.0	205	Ca	HCO3	Tipo I
S24T	7.68	199.60	392.0	251	Ca	HCO3	Tipo I
PIA-1	7.53	225.30	428.0	248	Ca	HCO3	Tipo I
S12	8.20	123.20	230.5	134	Ca	HCO3	Tipo I
S22C	8.20	93.60	177.4	104	Ca	HCO3	Tipo I
S22	7.45	45.00	116.0	67	Ca	HCO3	Tipo I
S34	4.89	1.60	16.5	8	Ca	SO4	Tipo II
M9B	7.23	26.90	50.5	29	Ca	HCO3	Tipo I
M9C	7.27	36.00	68.2	40	Ca	HCO3	Tipo I
S30A	4.16	0.00	57.9	32	Al	SO4	Tipo III
S32A	5.26	2.00	13.1	6	Ca	SO4	Tipo II
M17	8.22	180.00	350.0	212	Ca	HCO3	Tipo I
M21B	6.74	7.60	34.2	19	Ca	HCO3	Tipo I
M21	8.38	182.10	338.0	219	Ca	HCO3	Tipo I
M2	3.93	0.00	46.0	26	Al-Mg	SO4	Tipo IV

Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
M22	4.38	0.00	40.7	23	Ca-Al	SO4	Tipo IV
P11	7.45	224.70	419.0	272	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 S23, S24T, PIA-1, S12, S22C, S22, M17, M21 y P11. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD, una alcalinidad moderada a alta y un pH circum neutral a alcalino. Asimismo, fue encontrada en los puntos M9B, M9C y M21B, pero con bajas concentraciones de STD, baja alcalinidad y pH circum-neutral. En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo II: Sulfatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34 y S32A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (<8 mg/L), una alcalinidad muy baja (<2 mg CACO3/L) y un pH ácido (4.89 a 5.26) En estas aguas el catión predominante es el calcio y el anión predominante es el sulfato.
- Tipo III: Sulfatadas - Alumínicas. Este tipo de agua es de características similares a las aguas Tipo II pero el catión predominante es el aluminio. Fue encontrada en la muestra S30A. Estas aguas están caracterizadas por presentar un pH ácido (4.16) y una alcalinidad nula. Además, presentan una baja concentración de STD y CE moderada.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M2. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH ácido, alcalinidad nula, baja concentración de STD y baja a moderada conductividad eléctrica

Figura 4.6 Clasificación hidroquímica

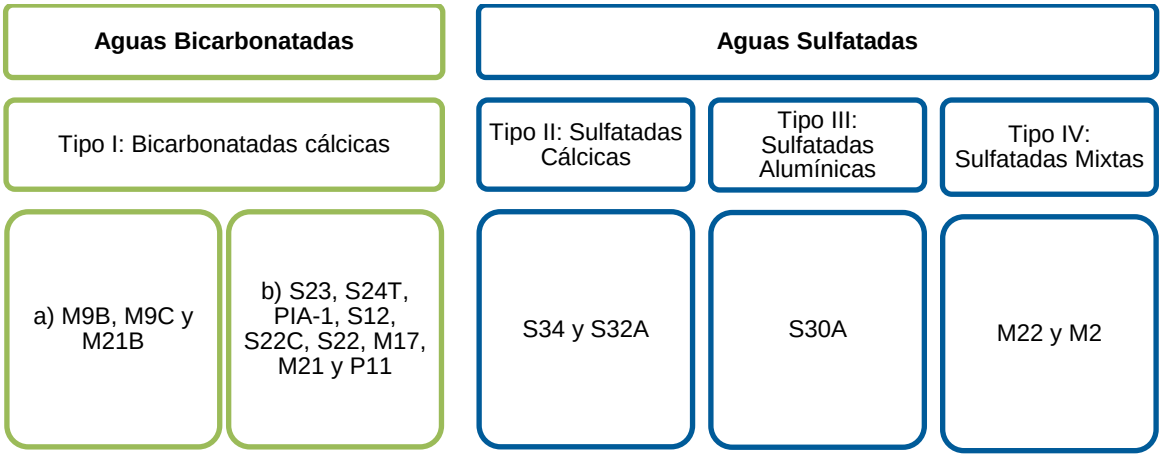
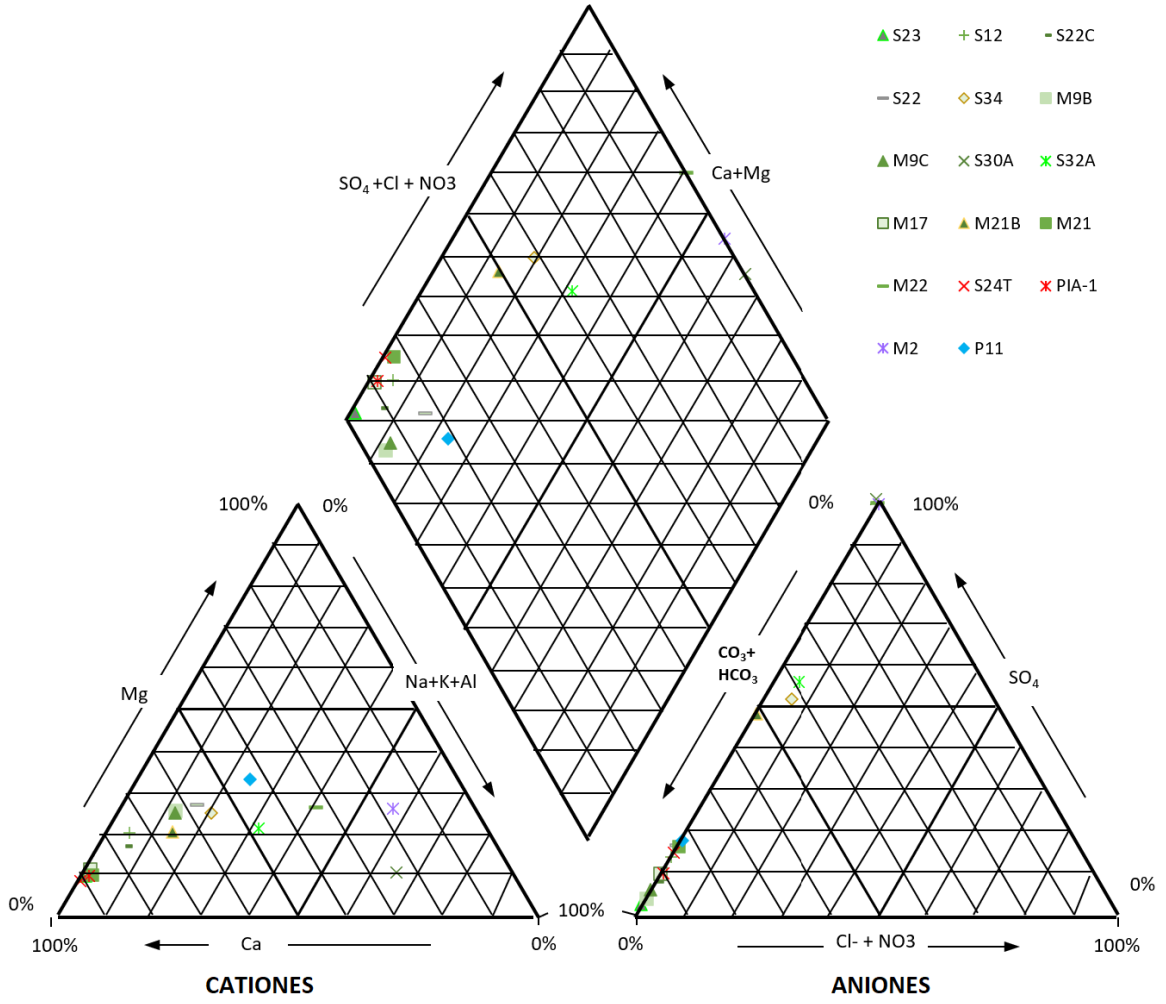


Figura 4.7 Diagrama Piper



Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.7) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). En el campo triangular izquierdo se grafica el porcentaje de los valores de los tres grupos de cationes (Ca2+, Mg2+, Na+, K+). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO3-, CO3 -2 SO4-2 y Cl-). El diamante central es usado para mostrar todo el carácter químico del agua como un tercer punto.

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

5 Resultados en puntos con registro de solo parámetros de campo

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

De los 26 puntos establecidos para el registro de solo parámetros de campo, doce (12) tienen como uso actual el abastecimiento de agua para consumo humano directo. Ocho de estos puntos (S1 a S8) corresponden a captaciones del proyecto PIASSA, un (01) punto corresponde a la captación de agua para consumo doméstico del caserío El Pedregal (S34B) y tres (03) puntos corresponden a captaciones de agua para consumo doméstico del caserío Sogorón Alto (S30B, S30C y S30D).

La Tabla 5.1 muestra los valores registrados en campo. El punto S6 (manantial El Suro) se encontró seco al igual que el punto S30A. Con excepción de S3, todos los puntos del proyecto PIASSA presentaron un pH circum-neutral (alrededor de 7). El pH en este punto excedió los ECA correspondientes. El pH en las captaciones de agua para consumo doméstico de Sogorón Alto (S30C y S30D) y El Pedregal (S34B) fue ácido y excedió el ECA correspondiente, de manera similar a monitoreos anteriores. Estos valores de pH estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. La conductividad varió entre 11.68 y 421 µS/cm y la temperatura de 9.3 a 13.9 °C. El oxígeno disuelto se presentó ligeramente por debajo del límite inferior de los ECA en S2, S8 y S30D. Los caudales fueron medidos en todos los puntos mediante el método volumétrico. El manantial S7 (Uñigán) presentó el mayor flujo en la zona, registrando 3.9 L/s.

Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 1-A1

Punto	Fecha	Hora	pH	CE (□S/cm)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
ECA Categoría 1-A1			6.5 – 8.5	1500	≥ 6	-	5	-
S2	3/08/2020	10:15:00	7.22	193.8	5.84	13.2	0.36	0.114
S3	3/08/2020	10:20:00	5.67	33.3	6.55	13.9	1.46	0.257
S4	3/08/2020	10:40:00	7.52	413	6.52	13.8	0.66	0.131
S5	3/08/2020	10:50:00	7.22	407	6.68	12.5	0.18	0.065
S8	3/08/2020	11:05:00	7.39	421	5.92	12.4	0.33	0.353
S7	3/08/2020	11:30:00	7.33	408	6.09	12.8	0.47	3.90
S1	3/08/2020	11:43:00	6.92	50.6	6.28	13.1	5.21	0.569
S30C	6/08/2020	09:26:00	4.39	49	6.46	11	0.28	0.803
S30D	6/08/2020	09:52:00	4.46	46.3	5.46	9.3	1.61	0.59
S34B	6/08/2020	11:30:00	4.83	11.68	6.14	12.9	0.11	2.113

5.2 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los 26 puntos establecidos para el registro de solo parámetros de campo, doce (12) tienen como uso actual el riego de vegetales y consumo de animales y por tanto corresponden a aguas Categoría 3. De estos puntos no fue posible efectuar mediciones de campo en uno (01) de ellos debido a la falta de acceso social (M15) mientras que M13 se encontró seco. Por otro lado, dos (02) puntos representan lagunas (M4 y M5) y por tanto corresponden a aguas Categoría 4. La Tabla 5.2 muestra los valores registrados en campo para puntos de categorías 3 y 4.

Tabla 5.2 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4

Punto	Fecha	Hora	pH	CE (□S/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	-	-	-
M4	31/07/2020	14:49:00	5.29	6.08	6.61	13.5	0.71	--
M5	31/07/2020	15:40:00	5.11	7.33	7.31	14.5	1.55	--
S34A	06/08/2020	11:04:00	4.97	7.62	6.75	12.2	0.18	4.067
S21E	31/07/2020	10:00:00	6.17	46.7	6.32	13.6	1.53	0.51
S21D	31/07/2020	10:35:00	5.91	31.6	5.59	12	0.6	0.521
S21C	31/07/2020	10:52:00	6.1	34.1	6.81	12.7	2.56	0.507
S21B	31/07/2020	11:23:00	7.62	34.5	5.04	14.01	3.8	--
S21A	31/07/2020	11:45:00	8.32	301	8.94	16.5	13.8	--
M37	31/07/2020	13:45:00	5.99	3	4.65	13.1	0.97	0.797
S20A	03/08/2020	12:50:00	4.37	416	5.79	14.8	7.35	0.095
S20B	03/08/2020	13:12:00	7.31	425	3.35	15.6	2.19	0.116

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 (4.37 a 8.32). Los valores más ácidos se presentaron en las lagunas Cama de los Shingos (M4), Kerosene (M5) excediendo los ECA para la categoría 4. Ambos puntos se ubican en las cercanías del área mineralizada, lo cual explicaría los bajos valores de pH. De manera similar los valores de pH en los puntos S34A, S21E, S21D, S21C, M37 y S20A excedieron los ECA para la Categoría 3.

La conductividad eléctrica varía entre 3 y 425 uS/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 12.0 y 15.6 °C. El oxígeno disuelto excedió los ECA para la Categoría en 3-D1 en S20B y la Categoría 3 D2 en M37.

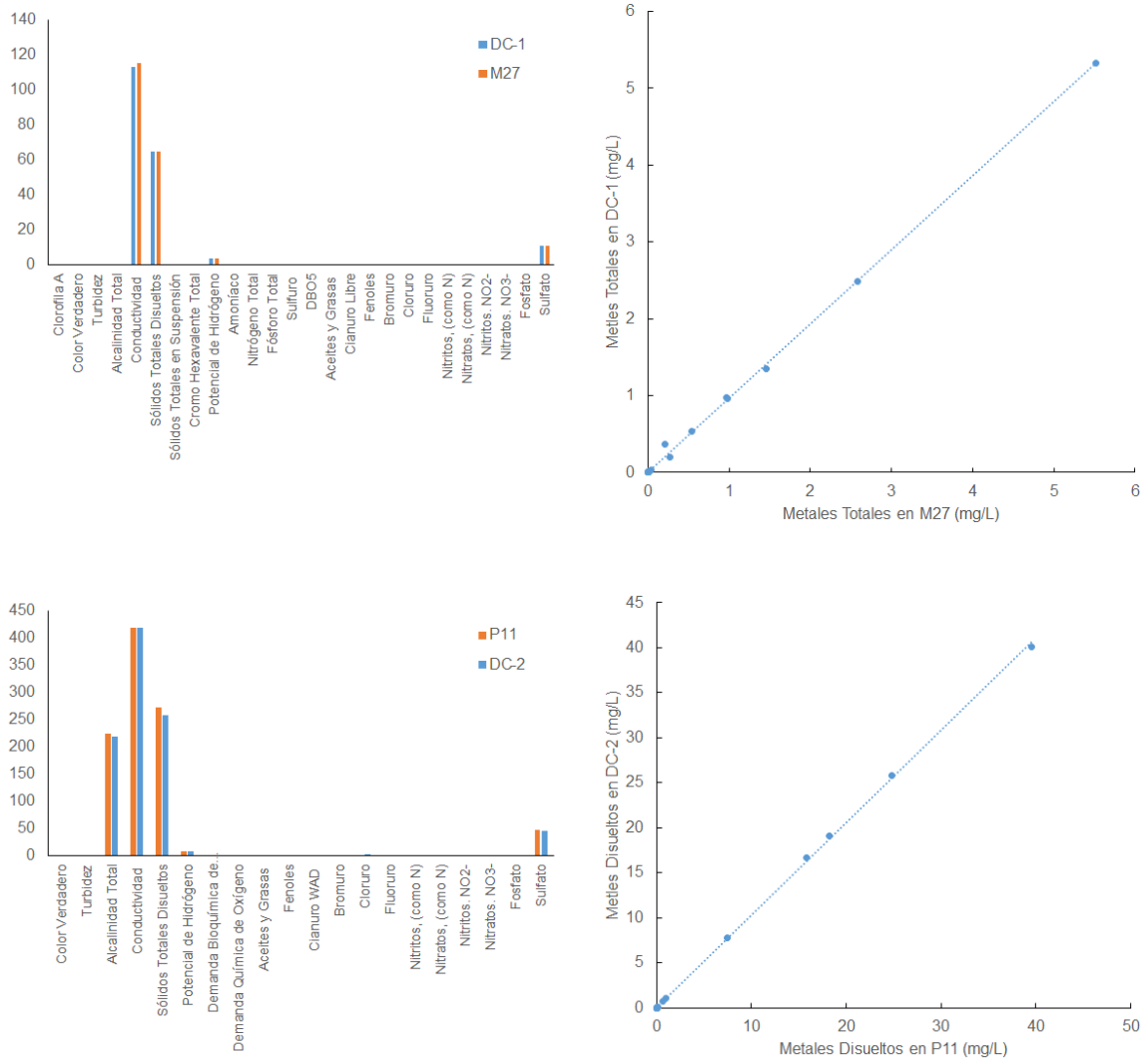
En todos los casos se pudo observar aguas transparentes, como escasa o nula presencia de sólidos en suspensión.

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.5, A.6 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.7. Como se puede observar todos los parámetros analizados han sido reportados como no detectados, lo cual valida la confiabilidad del proceso de toma de muestras.

6.2.2 Blanco viajero

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

Los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos y del análisis de metales totales del blanco viajero se muestran en la Tabla A.7. Los resultados muestran que tal como se esperaba no se detectaron ninguno de los parámetros analizados.

6.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio

El control de calidad de los datos de laboratorio se ha efectuado siguiendo los lineamientos indicados

- Balance iónico
- Revisión cruzada de parámetros: Comparación de conductividad eléctrica de campo y laboratorio, razón entre sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica y comparación de concentraciones obtenidas para metales disueltos y sus correspondientes metales totales.

6.3.1 Balance iónico

El balance iónico fue efectuado considerando como cationes principales: Calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), potasio (K^{+}), sodio (Na^{+}), aluminio (Al^{+3}) e hidronio (H^{+}); y como aniones principales: Bicarbonato (HNO_3^{-}), carbonato (CO_3^{-2}), cloruros (Cl^{-}), fluoruros (F^{-}), sulfato (SO_4^{-2}), nitrito (NO_2^{-}), nitrato (NO_3^{-}) e hidroxilo (OH^{-}). El porcentaje de diferencia entre cationes y aniones se expresa como sigue:

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

La organización mundial de la salud (WHO, 1996) indica que para aguas subterráneas el error aceptable debería ser menor o igual que 5% (a menos que los sólidos totales disueltos sean menores que 5 mg/L en cuyo caso un mayor error es aceptable). Para aguas superficiales un error de hasta 10% es aceptable.

Asimismo, en el documento *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999), se recomiendan los siguientes criterios de aceptación:

Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico

Suma de aniones (meq/L)	Diferencia aceptable
0 – 3.0	±0.2 meq/L.
3.0 – 10.0	± 2%
10.0 – 800	± 5%

Es necesario tomar en cuenta que estas últimas recomendaciones han sido hechas para el control de calidad de análisis de laboratorio de agua potable. Debido a que en ninguno de los casos se ha analizado agua potable, la diferencia aceptable indicada por este criterio ha sido tomada como referencial. La Tabla 6.2 resume los resultados del balance

Tabla 6.2 Balance iónico

Punto	∑ aniones meq/L	∑ cationes meq/L	∑cat - ∑anio meq/L	DPR %
S23	4.69111	4.5236	-0.1675	-1.8%
S24T	3.82367	3.9343	0.1106	1.4%
PIA-1	5.05942	5.1567	0.0973	1.0%
M9B	2.79822	2.4954	-0.3029	-5.7%
S12	2.04646	1.7897	-0.2567	-6.7%
S22C	1.08493	1.2372	0.1523	6.6%
S22	0.07693	0.0481	-0.0288	-23.0%
S32A	0.56254	0.5350	-0.0275	-2.5%
S30A	0.76817	0.7138	-0.0544	-3.7%
M9C	0.25349	0.2415	-0.0120	-2.4%
S34	0.10558	0.0701	-0.0355	-20.2%
M17	3.40412	3.0437	-0.3604	-5.6%
M21	1.90439	1.8335	-0.0709	-1.9%
M1	4.41400	3.8412	-0.5728	-6.9%
M28	0.10544	0.2387	0.1333	38.7%
M2	3.25718	3.3530	0.0958	1.4%
M21B	2.64880	2.2770	-0.3718	-7.5%
M22	5.53283	4.5652	-0.9676	-9.6%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de S22 y S34 cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS. Por otro lado, en los mencionados puntos, la diferencia entre cationes y aniones cumple con el primer criterio del Standard Method. Debido a lo anterior, los resultados pueden ser considerados como válidos. Sin perjuicio de lo anterior, es importante que el propio laboratorio de análisis efectúe un balance iónico interno antes de emitir los resultados. Especial atención requieren los puntos con pH muy ácido, que son coincidentemente aquellos en los que l balance iónico presentó mayor desviación.

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

6.3.2 Revisión cruzada de parámetros

Se efectuó una revisión cruzada de los siguientes parámetros: pH medido en laboratorio, versus vs pH medido en campo, conductividad eléctrica versus conductividad de campo, conductividad eléctrica versus sólidos totales disueltos, concentración de metales totales versus concentración de metales disueltos y conteo de coliformes totales versus conteo de coliformes fecales.

Se verificó que existe una buena relación entre las mediciones de conductividad eléctrica efectuadas en campo, con sus correspondientes análisis de laboratorio. La relación STD/Conductividad observada en las muestras tiene un promedio de 0.61. Los valores de conductividad registrados en campo son similares a los obtenidos tras el análisis de laboratorio.

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

Se verifico que en todos los casos el conteo de coliformes totales es superior al conteo de coliformes termotolerantes.

7 Conclusiones y recomendaciones

Las aguas naturales presentes en el área del proyecto son en general de buena calidad con baja a moderada concentración de sólidos totales disueltos. Los valores de conductividad, dureza, y alcalinidad varían directamente con el incremento de STD. Aguas con bajo valor de STD en el área mineralizada son influenciadas por la oxidación natural de minerales sulfuro, los cuales en gran proporción son el resultado del sulfato y bajos valores de pH.

Bajas concentraciones de metales totales y disueltos se presentan en la mayoría de las muestras evaluadas.

En algunos puntos se excedió los ECA para agua en las distintas categorías. Estos se resumen a continuación, según categoría de análisis.

Aguas Categoría 1-A1:

- El pH medido tanto en campo como en laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en los puntos S30A, S32A y S34. El agua de estos puntos procede de la misma ubicación geográfica y las características de acidez estaría relacionada con la geología de la zona.
- Solo el aluminio total excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en el punto S30A. La presencia de aluminio en S30A ha sido notada en todos los monitoreos precedentes, aunque es la primera vez que supera el ECA. Estaría relacionada a una zona mineralizada.
- Los organismos de vida libre estuvieron presentes en 2 puntos de monitoreo (S23 y S32A) en forma de algas, excediendo los ECA.

Aguas Categoría 3:

- Los valores de pH registrados en campo variaron entre 4.75 y 8.33, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 3.93 y 8.38. El punto M2 presentó valores de campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1. Este punto se hayan alrededor de una zona mineralizadas lo que explicaría su bajo pH.
- El fósforo total excedió ligeramente la categoría 4-E2 en los puntos M17 y M21. En los cursos de agua la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes; y en oportunidades a características del propio suelo.
- El cadmio total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en el punto M2, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3.

Aguas Categoría 4:

- El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M22. Los valores naturales de pH serían consecuencia de la geología de la zona.
- Ningún metal excedió los ECA para la categoría 4.

Agua subterránea:

- En la muestra de agua subterránea solo el valor del oxígeno disuelto excedió los ECA para la categoría 3 (usados de manera referencial). Esto es esperable en aguas subterráneas debido a su estanqueidad.

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

- Aguas Categoría 1-A1: El pH en el punto S3 del proyecto PIASAA excedió los ECA correspondientes. El pH en las captaciones de agua para consumo doméstico de Sogorón Alto (S30C y S30D) y El Pedregal (S34B) fue ácido y excedió el ECA correspondiente. Estos puntos se ubican en las cercanías de áreas mineralizadas, lo cual explicaría el bajo valor de pH. El oxígeno disuelto se presentó ligeramente por debajo del límite inferior de los ECA en S2, S8 y S30D.
- El pH de los puntos evaluados varió de ácido a alcalino (4.37 a 8.32). Los valores más ácidos se presentaron en las lagunas Cama de los Shingos (M4), Kerosene (M5) excediendo los ECA para la categoría 4. Ambos puntos se ubican en las cercanías del área mineralizada, lo cual explicaría los bajos valores de pH. De manera similar los valores de pH en los puntos S34A, S21E, S21D, S21C, M37 y S20A excedieron los ECA para la Categoría 3. El oxígeno disuelto excedió los ECA para la Categoría en 3-D1 en S20B y la Categoría 3 D2 en M37. Estos resultados son similares a los registrados en monitoreos previos.

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 S23, S24T, PIA-1, S12, S22C, S22, M17, M21 y P11. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD, una alcalinidad moderada a alta y un pH circum neutral a alcalino. Asimismo, fue encontrada en los puntos M9B, M9C y M21B, pero con bajas concentraciones de STD, baja alcalinidad y pH circum-neutral. En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo II: Sulfatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34 y S32A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (<8 mg/L), una alcalinidad muy baja (<2 mg CACO3/L) y un pH ácido (4.89 a 5.26) En estas aguas el catión predominante es el calcio y el anión predominante es el sulfato.
- Tipo III: Sulfatadas - Alumínicas. Este tipo de agua es de características similares a las aguas Tipo II pero el catión predominante es el aluminio. Fue encontrada en la muestra S30A. Estas aguas están caracterizadas por presentar un pH ácido (4.16) y una alcalinidad nula. Además, presentan una baja concentración de STD y CE moderada.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M2. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH ácido, alcalinidad nula, baja concentración de STD y baja a moderada conductividad eléctrica.

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.