PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2020

INFORME ZONA I

Revisión D

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.

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

Preparado por:

ING. CECILIA PECHE BECERRA

CIP139912
Lima - Perú

LIMA, ABRIL 2021

CONTENIDO

1	**INTRODUCCIÓN**	**4**
1.1	Introducción	4
1.2	Participación de la población local	4
2	**UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO**	**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	**MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN-SITU Y AFOROS**	**8**
3.1	Muestreo para el análisis de laboratorio	10
3.2	Control de calidad	12
3.3	Estándares y guías aplicadas	13
3.4	Laboratorio de análisis	13
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)	17
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	18
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	19
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	19
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	22
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	24
4.3	Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4	24
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos	24
4.3.2	Inorgánicos (Metales)	26
4.3.3	Microbiológicos y parasitológicos	27
4.4	Agua subterránea	27
4.5	Evaluación Hidroquímica	27
5	**RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETROS DE CAMPO**	**33**
5.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	33
5.2	Aguas superficiales, Categorías 3 y 4	33
6	**CONTROL DE CALIDAD**	**35**
6.1	Duplicado de muestra	35
6.2	Blancos	36

6.2.1 Blanco de campo 36
6.2.2 Blanco viajero 36
6.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio 36
6.3.1 Balance iónico 36
6.3.2 Revisión cruzada de parámetros 38

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 39

8 REFERENCIAS 42

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua – Zona I 6
Tabla 2.2 Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo – Zona I 6
Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo 8
Tabla 3.2 Flujos registrados en campo 9
Tabla 3.3 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría 11
Tabla 3.4 Listado de muestras de control de calidad 12
Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio 13
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 17
Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1 19
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 20
Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3 y 4 22
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3 24
Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4 (M22) 24
Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4 (M22) 26
Tabla 4.9 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L) 28
Tabla 4.10 Iones principales y tipos de agua 30
Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 1-A1 33
Tabla 5.2 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4 34
Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico 37
Tabla 6.2 Balance iónico 37

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo 10

Figura 4.1 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas Categoría 1-A1 15
Figura 4.2 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1 15
Figura 4.3 Valores de STD, Dureza, CE y alcalinidad total en aguas Categoría 1-A1 16
Figura 4.4 Metales que exceden los ECA para la Categoría 1-A1 17
Figura 4.5 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas Categoría 3 . 21
Figura 4.6 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3 21
Figura 4.7 Metales que exceden los ECA para la Categoría 3 23
Figura 4.8 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4 25
Figura 4.9 Distribución de carga catiónica en los puntos de monitoreo 29
Figura 4.10 Distribución de carga aniónica en los puntos de monitoreo 30
Figura 4.11 Clasificación hidroquímica 31
Figura 4.12 Diagrama Piper 32
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado 35

LISTA DE MAPAS

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

LISTA DE ANEXOS

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

1 Introducción

1.1 Introducción

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

El presente informe muestra los resultados de la ronda de monitoreo semestral de calidad de aguas correspondiente a la temporada húmeda 2020. El monitoreo fue ejecutado del 25 de noviembre al 04 de diciembre de 2020. Las áreas de trabajo de la zona I 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

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

1. En los puntos de monitoreo de El Pedregal, el viernes 27 de noviembre participó el señor William Huamán Soto, presidente de la JASS del caserío de El Pedregal.
2. Santiago Vera Rodríguez, presidente de la JASS de Yerba Buena Grande participó en el monitoreo de agua de Yerba Buena Grande el lunes 30 de noviembre.
3. En los puntos de monitoreo del PIASAA, el martes 01 de diciembre participaron los señores Guillermo Mantilla, presidente del Comité Central del PIASAA; Guillermo Huamán Rudas, representante del PIASAA por el distrito de Baños del Inca; Segundo Casas Chuan, representante del PIASAA por el distrito de Llacanora; y Segundo Daniel Cabanilla Lucano, fiscal del PIASAA.
4. En los puntos de monitoreo del caserío Rodacocha participó el viernes 04 de diciembre el señor Epifanio Alvarado Villanueva, presidente de la JASS del Caserío Rodacocha. Así mismo el punto de monitoreo de Sogorón Alto, participó el señor Santiago Llanos Juárez secretario de la JASS del caserío Sogorón Alto.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Anunciación Huamán Chávez - Caserío El Valle, quien participó en el monitoreo de agua los días 25, 26 y 27 de noviembre.
- Nando Miranda Miranda - Caserío El Punre, quien participó en el monitoreo de agua los días 28 de noviembre y 01 de diciembre.
- Olger Tacilla Alvarado- Caserío El Porvenir, quien participó en el monitoreo de agua los días 29, 30 de noviembre y 04 de diciembre.
- Manuel Salazar Llanos - Caserío Sogorón Alto, quien participó en el monitoreo de agua el 02 de diciembre.

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

2 Ubicación de puntos de monitoreo

2.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

La Tabla 2.1 muestra el listado de puntos de monitoreo en los cuales se efectuó toma de muestras para el análisis de laboratorio, así como registro de parámetros de campo. El Anexo D presenta las fichas de identificación de puntos de monitoreo.

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua – Zona I

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
M9B	794068	9225738	3735	Tanque #1 ACD Chamcas	1-A1	Si
M9C	794630	9225358	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 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	No
M1	793714	9225861	3596	Qda. Chamcas	3 y 4	Si
M17	790736	9226450	3512	Qda. Hierbabuena	3 y 4	Si
M2	794581	9226800	3768	Qda. Kerosene	3 y 4	Si
M21	791571	9222394	SD	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; S/M = sin muestra.

No fue posible obtener una muestra en el Punto S34 ya que el reservorio se halló en reconstrucción.

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 – Zona I

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
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

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
S6	793387	9225615	SD	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	1-A1	Sin flujo
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	Sin flujo
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	Si
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, no fe posible efectuar la medición en los puntos S21A y S6 por encontrarse secos.

3 Medición de parámetros in-situ y aforos

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

Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (ºC)	Turbidez (NTU)
M1	7.06	35	6.89	12.2	65
M14	6.45	246.0	5.92	11.8	1.10
M2	5.14	16.8	6.16	12.0	2
S23	7.61	295.0	6.30	11.1	0.51
S24T	7.42	397.0	6.30	13.2	0.91
M17	8.01	120.1	6.45	13.1	3.93
M21	8.59	207.0	6.57	14.3	5.78
M21B	8.02	30.2	5.95	12.9	2.23
PIA-1	7.65	410.0	6.81	12.7	0.81
P11	7.72	405.0	3.65	13.1	0.6
S22C	7.57	159.2	7.29	10.5	1.5
S22	6.80	101.0	6.77	10.8	0.95
S12	7.85	289.0	6.97	11.5	1.23
M9B	6.82	50.5	7.31	12.7	0.7
M9C	7.35	55.3	6.58	11.6	0.48
M22	4.38	27.3	6.59	10.8	2.81
S34	Reservorio en reconstrucción. No se tomó muestras.				
S32A	5.01	12.2	6.70	11.5	1.51
S30A	4.59	14.6	8.17	13.3	1.8
S21E	6.64	46.8	6.51	13.5	2.2
S21D	5.87	34.8	5.05	11.5	0.9
S21C	6.60	44.6	6.37	14.9	2.4
S21B	7.25	45.1	4.90	15.0	7.4
S21A	seco				
S20A	7.51	445	5.58	13.9	19
S20B	8.13	353	4.12	13.5	11.9
M5	5.70	7.5	6.70	11.6	2.2
M4	5.42	5.6	5.84	13.7	0.9
M37	5.98	14.7	5.47	16.5	0.5
S30B	5.16	6.4	6.88	11.1	0.7
S30C	4.73	32.8	5.59	11.0	0.5
S30D	5.02	38.0	3.80	11.8	0.4
S34A	4.95	7.3	6.65	11.9	0.0
S34B	4.46	11.2	6.21	12.0	0.0
S1	6.51	38.8	6.71	13.5	0.85
S7	7.53	411.0	6.84	12.5	0.73
S5	7.47	381.0	6.28	12.8	1.10
S8	7.39	379.0	6.35	12.6	1.03
S4	7.43	262.0	6.32	12.6	1.02
S3	6.20	38.5	6.67	13.3	0.76
S2	7.10	166.1	5.93	13.0	0.87

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

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

Los valores de cada medición fueron anotados en los correspondientes formatos de campo para su posterior cálculo. La Tabla 3.2 presenta los resultados de los aforos realizados. El Anexo F presenta los formatos de recojo de información de aforos en campo.

Tabla 3.2 Flujos registrados en campo

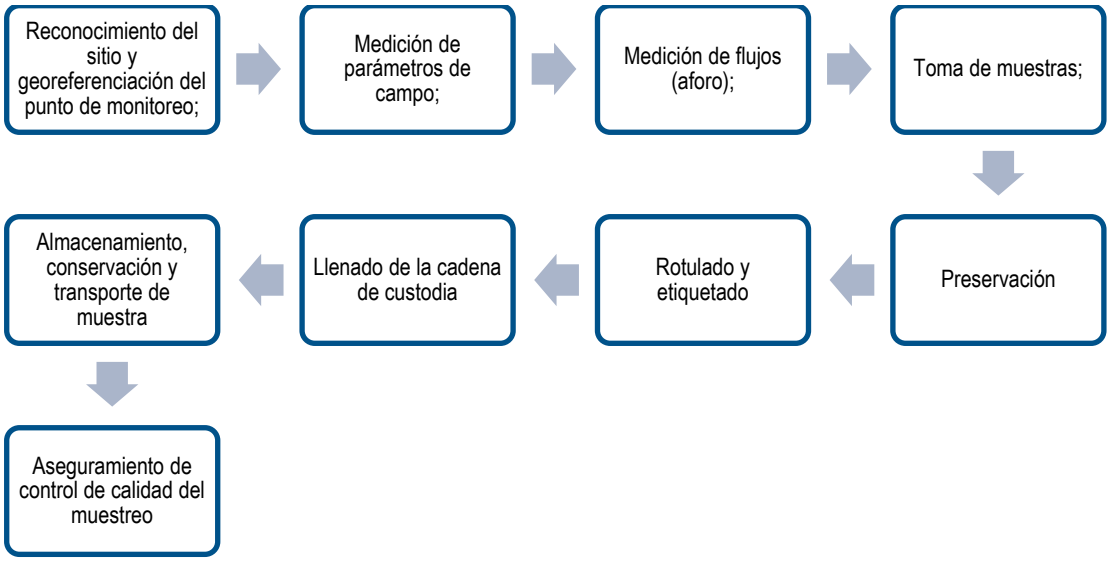
Punto	Caudal (L/s)	Comentarios
S21E	0.773	
S21D	0.605	
S21C	-	No se midió caudal. Flujo disperso
S21B	-	No se midió caudal. Flujo mínimo
S21A	-	seco
S20A	0.06	
S20B	-	No se midió caudal. Flujo mínimo
M5	-	Laguna
M4	-	Laguna
M37	3.171	
S30B	0.7	
S30C	1.064	
S30D	-	No se realizó la medición de caudal, la captación se encontró empozada.
S34A	2.427	
S34B	2.17	
M1	172.5	
M2	33.58	
S23	0.9	
S24T	0.46	
M17	188.23	
M21	1945	
M21B	162	
PIA-1	5.64	SGS reporta 4.78 L/s, sin embargo, a ese valor de le debe añadir el caudal que ingresa desde S1=0.86. Total = 4.78+0.86 L/s
S1	0.86	
S7	2.637	
S8	0.51	
S5	0.241	
S4	0.217	
S3	1.29	
S2	0.39	
S6	-	Seco
P11	-	Piezómetro
S22C	-	Reservorio cerrado

Punto	Caudal (L/s)	Comentarios
S22	-	Reservorio cerrado
S12	0.54	
M9B	0.91	
M9C	0.11	
M22	-	Laguna
S34	-	Reservorio en reconstrucción
S32A	2.35	
S30A	3.89	

3.1 Muestreo para el análisis de laboratorio

El monitoreo ha sido efectuado por SGS del Perú S.A. siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (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 G presenta las cadenas de custodia

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

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

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	Asub	BK
Aceites y Grasas	x	x	x	x	
Alcalinidad Total	x	x	x	x	
Amoniaco		x	x		
Bromuro, Br-	x	x	x	x	x
Cianuro Total	x				
Cianuro Wad		x		x	
Cianuro Libre		x	x		
Clorofila A			x		
Cloruros. Cl-	x	x	x	x	x
Color Verdadero	x	x	x	x	
Conductividad	x	x	x	x	
Cromo Hexavalente		x	x		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	x	x	x	x	
Demanda Química de Oxígeno	x	x		x	
Detergentes Aniónicos		x			
Dureza Total	x				
Fenoles	x	x	x	x	
Fluoruros. F-	x	x	x	x	x
Fósforo Total	x	x	x		
Fosfatos, PO4-3	x	x	x	x	x
Nitratos. NO3-	x	x	x	x	x
Nitritos. NO2-	x	x	x	x	x
Nitrógeno Amoniacal	x				
Nitrógeno Total			x		
pH	x	x	x	x	
Sólidos Totales Disueltos	x	x	x	x	
Sólidos Totales Suspendidos		x	x		
Sulfatos. SO4-2	x	x	x	x	x
Sulfuros		x	x		
Turbidez	x	x	x	x	
Metales disueltos	x	x	x	x	x
Metales totales	x	x	x	x	x
Coliformes Fecales o Termotolerantes	x	x	x	x	
Coliformes totales	x				
Enterococos intestinales	x	x			
Escherichia coli	x				
Vibrio cholerae	x				
Microcistina LR	x				
Formas Parasitarias	x				

Parámetro	1-A1	3 y 4	4	Asub	BK
Huevos de Helmintos		x			
Organismos de Vida Libre	x				

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

3.2 Control de calidad

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

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

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

Tabla 3.4 Listado de muestras de control de calidad

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

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

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

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

3.3 Estándares y guías aplicadas

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

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

3.4 Laboratorio de análisis

Se ha empleado como laboratorio de análisis a SGS Perú S.A.C., el cual se encuentra acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación del Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), por lo cual los informes de ensayo cuentan con valor oficial. Los informes de ensayo de laboratorio son presentados en el Anexo H. Las muestras recibidas por el laboratorio han sido clasificadas en “grupos” de ensayo, como sigue:

Tabla 3.5 Informes de ensayo de laboratorio

Punto	Informe de Ensayo	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo
M1	MA2022941	28/11/2020	10:10
M2	MA2022941	28/11/2020	11:20
S23	MA2023137	30/11/2020	09:10
S24T	MA2023153	30/11/2020	10:20
M17	MA2023094	30/11/2020	12:00
M21	MA2023094	30/11/2020	13:30
M21B	MA2023094	30/11/2020	14:40
PIA-1	MA2023154	1/12/2020	09:40
P11	MA2023553	3/12/2020	08:10
S22C	MA2023548	3/12/2020	09:20
S22	MA2023548	3/12/2020	10:10
S12	MA2023548	3/12/2020	10:50
M9B	MA2023548	3/12/2020	13:30
M9C	MA2023548	3/12/2020	14:30
M22	MA2023552	4/12/2020	08:30
S32A	MA2023550	4/12/2020	10:30
S30A	MA2023550	4/12/2020	12:00

Adicionalmente se analizaron 2 duplicados de campo (Categoría 4 y agua subterránea), y 3 puntos de control de calidad (2 blancos de campo y 1 blanco viajero).

4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para el año 2020 incluye la toma de muestra en 11 puntos con Categoría 1-A1 (véase Tabla 2.1). Se efectuaron 10 de los 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, fósforo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fenoles, bromuros, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 1-A1. Si bien el nitrito fue detectado, esto ocurrió solo en 1 punto (S24T) pero sin exceder el ECA. La Tabla A.1 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

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

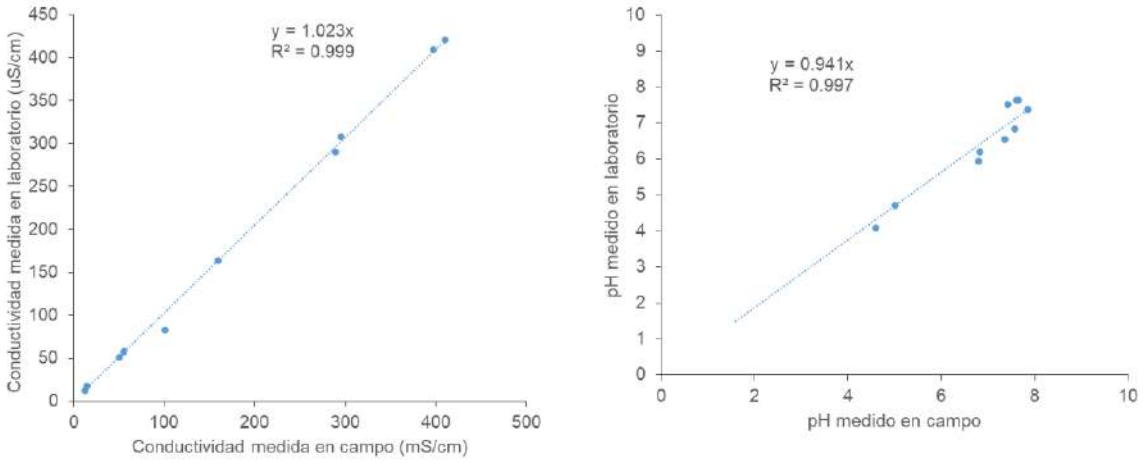
Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Color Verdadero	UC	4	9.8	20.3	3
Turbidez	NTU	9	0.2	1.8	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	8	24	188.3	
Dureza Total	mg CaCO3/L	10	2.3	310.3	
Conductividad	uS/cm	10	12.5	421	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10	10	252	
Potencial de Hidrógeno (pH).	pH	10	4.08	7.64	4
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	10	0.01	0.605	
Fósforo Total	mg P/L	0	sd	sd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	sd	sd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	2	4.6	4.6	
Aceites y Grasas	mg/L	0	sd	sd	
Cianuro total	mg/L	0	sd	sd	
Fenoles	mg/L	0	sd	sd	
Turbidez (campo)	NTU	10	0.48	1.8	
Conductividad (campo)	uS/cm	10	12.2	410	
Temperatura (campo)	°C	10	10.5	13.3	
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	10	4.59	7.85	2
Medición de Caudal (campo)	m3/s	6	0.00011	0.00389	
Oxígeno Disuelto. (campo)	mg/L	10	6.3	8.17	
Bromuro	mg/L	0	sd	sd	
Cloruro	mg/L	8	0.063	3.177	
Fluoruro	mg/L	6	0.019	0.123	
Nitrito (como N)	mg/L	1	0.033	0.033	
Nitrato (como N)	mg/L	8	0.082	1.221	

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Nitrito	mg/L	1	0.108	0.108	
Nitrato	mg/L	8	0.364	5.405	
Fosfato	mg/L	0	sd	sd	
Sulfato	mg/L	10	1.72	60.11	

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

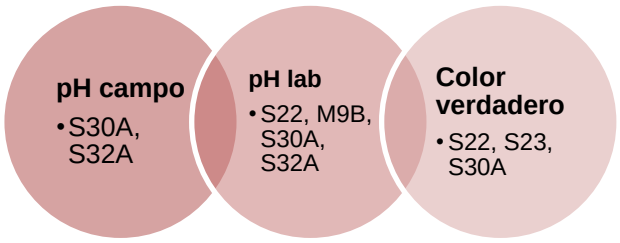
Existe buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 12.2 y 410 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 12.5 y 421 µS/cm. El coeficiente de correlación entre ambos grupos de conductividades es de 0.99 (ver Figura 4.1). El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 4.59 a 7.85) y laboratorio (de 4.08 a 7.64) (véase Figura 4.1).

Figura 4.1 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas Categoría 1-A1



El color verdadero, el pH y el color verdadero excedieron los ECA para la Categoría 1-A1 en algunos puntos, tal como se aprecia en la figura siguiente:

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

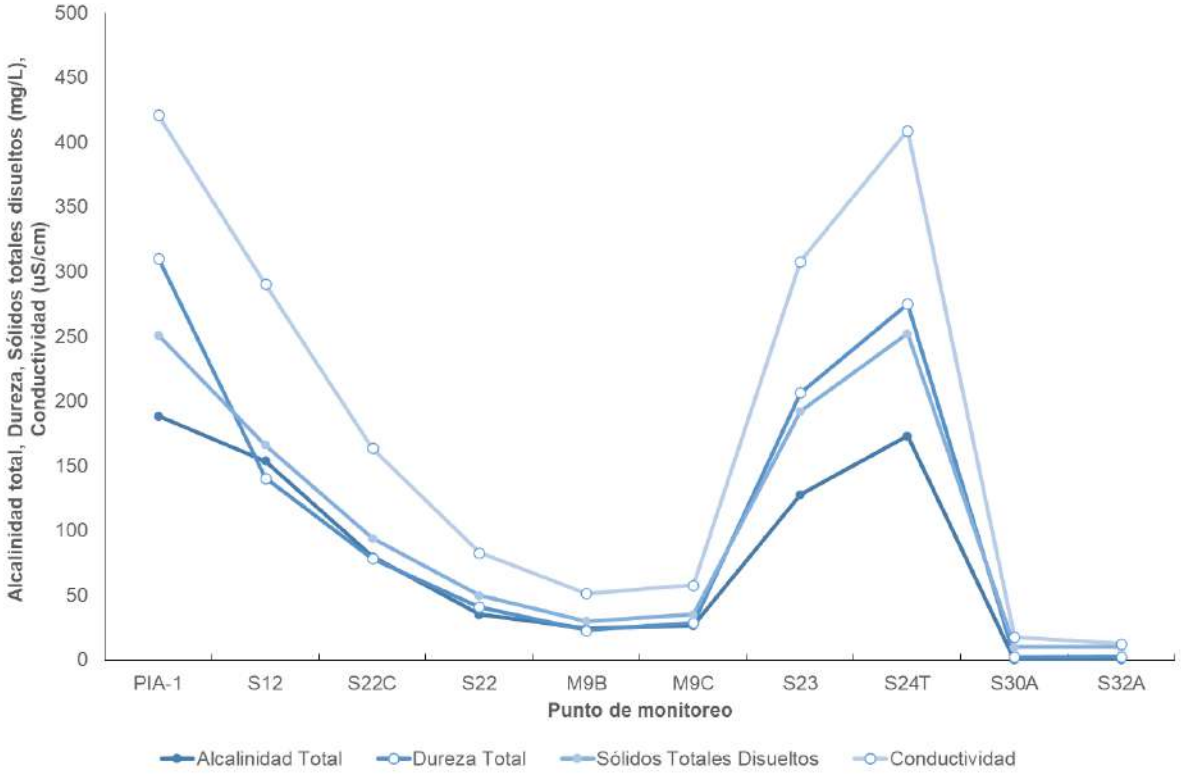


El agua de los puntos S30A y S32A procede de la misma ubicación geográfica y las características de acidez estaría relacionada con la geología de la zona; de manera similar ocurre con M9B y S22, aunque en ambos casos el pH de campo cumplió los ECA y fue el pH de laboratorio el que se encontró por debajo, lo cual podría deberse a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis

de laboratorio. En el caso de las excedencias en color, en S22 y S30A estas son muy ligeras (15.4 y 16.1 UC respectivamente con respecto al ECA que es 15 UC) y los resultados están dentro del margen de incertidumbre. En el caso de S23, el valor del color tampoco es muy alto (20.3 UC) y podría estar relacionado a la presencia de sustancias húmicas de las aguas que filtran en la zona pantanosa aledaña a la captación y/o zona de emplazamiento del reservorio.

Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón promedio de 0.61. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 10 y 252 mg/L. La alcalinidad también presenta una relación directa con la conductividad eléctrica y fue nula a baja (<50 mg/L) en puntos con pH ácido y en el resto de los puntos fue clasificado como media a alta, con valores entre 24 y 188.3 mg/L. Como se muestra en la Figura 4.3, la alcalinidad, conductividad, dureza y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo.

Figura 4.3 Valores de STD, Dureza, CE y alcalinidad total en aguas Categoría 1-A1



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 I de estudio varía de blanda (puntos S22, M9B, M9C, S30A, S32A) a muy dura (PIA-1, S23 y S24T). La alcalinidad fue baja (<50 mg $CaCO_3$/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 hasta 188.3 mg $CaCO_3$/L.

Las concentraciones de nitratos (como NO_3) variaron de 0.364 a 5.405 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica, aunque con mayor presencia porcentual en las aguas monitoreadas en S30A y S32A. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron en general bajas (de 0.01 a 0.605 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 1.72 y 60.11 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 1-A1 siendo el anión predominante en S30A y S32A. Las concentraciones de cloruros varían de 0.063 a 3.177 mg/L y fue detectado en todos los puntos salvo M9C y S30A. Los fluoruros fueron detectados en concentraciones de 0.019 a 0.123 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 10 muestras son: calcio, estroncio, magnesio, sílice, silicio y sodio. No se registraron valores detectables de antimonio, arsénico, berilio, bismuto, boro, cerio, galio, hafnio, lantano, lutecio, niobio, plata, tantalio, telurio, thorio, vanadio, wolframio, yterbio y zirconio. El metal más abundante es el calcio con valores de 0.447 a 90.839 mg/L. Le sigue en importancia el silicio, magnesio, sodio y potasio. Solo el hierro total excedió ligeramente los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S22C y S30A (0.3554 y 0.4529 mg/L respectivamente, mientras que el ECA es 0.3 mg/L). La presencia de hierro en S22C y S32A ha sido notada en todos los monitoreos precedentes, aunque es la primera vez que supera el ECA en S32A. Su presencia estaría relacionada a presencia de mineralización en la fuente.

Figura 4.4 Metales que exceden los ECA para la Categoría 1-A1

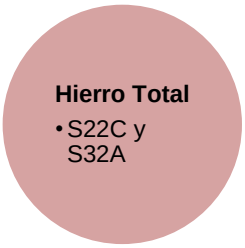


Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	6	0.022	0.273	5	0.027	0.197
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bario	mg/L	8	0.0021	0.0393	8	0.002	0.0382
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	0.00041	0.00041	1	0.00035	0.00035
Calcio	mg/L	10	0.447	90.839	10	0.442	78.757

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Cerio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cesio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	3	0.00008	0.00041	2	0.00008	0.0004
Cobre	mg/L	4	0.00164	0.00404	2	0.00145	0.00299
Cromo	mg/L	1	0.0115	0.0115	0	0	0
Estaño	mg/L	1	0.01085	0.01085	0	0	0
Estroncio	mg/L	10	0.0008	0.2246	10	0.0007	0.2113
Fósforo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Galio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Germanio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hafnio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Hierro	mg/L	7	0.0096	0.4529	4	0.0086	0.2716
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	2	0.0013	0.0018	2	0.001	0.0018
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	10	0.159	6.902	10	0.147	6.891
Manganeso	mg/L	4	0.00502	0.03235	4	0.00108	0.02237
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	1	0.0007	0.0007	1	0.00064	0.00064
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	1	0.0062	0.0062	0	nd	nd
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	2	0.0032	0.0039	1	0.0037	0.0037
Potasio	mg/L	9	0.16	0.64	9	0.15	0.64
Rubidio	mg/L	2	0.001	0.0043	1	0.004	0.004
Selenio	mg/L	1	0.0043	0.0043	1	0.0028	0.0028
Sílice	mg/L	10	1.51	18.23	10	1.48	18.06
Silicio	mg/L	10	0.71	8.52	10	0.69	8.44
Sodio	mg/L	10	0.075	3.203	10	0.068	3.18
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	8	0.0007	0.0031	6	0.0007	0.002
Uranio	mg/L	3	0.000056	0.000119	3	0.000049	0.000109
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	7	0.0031	0.0286	6	0.0051	0.0245
Zirconio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

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

4.1.3 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, Giardia, Quistes y Ooquistes de protozoarios patógenos y no patógenos, copépodos ni

rotíferos. Microsistina LR tampoco fue detectada. Las formas parasitarias fueron detectadas en 4 puntos (S12, S22C, S30A y S32A) y las larvas de helminto fueron detectadas en dos puntos, S30A y S32A, con valores de hasta 2 organismos/L excediendo el ECA para la categoría. Los organismos de vida libre estuvieron presentes en 5 puntos de monitoreo en forma de algas, en 3 en forma de nemátodos en todos sus estadios y en 2 puntos en forma de protozoarios. El punto con mayor presencia de algas fue S32A (154 organismos/L); en todos los casos se excedió el ECA para la categoría. La presencia de nemátodos, formas parasitarias y larvas de helmintos es muy baja (cerca de cero) y en estos puntos se requeriría una mayor atención a la limpieza de tanques. La presencia de algas ocurre casi en todos los lugares donde se almacena el agua ya que cuando el agua está estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. La presencia de algas es otro indicador de que es necesario prestar atención a la limpieza de tanques.

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

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	5	2	4.5	
Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Detección de Vibrio Cholerae	en 1 L	0	nd	nd	
Formas Parasitarias	Organismo/L	4	0	2	4
Giardia duodenalis	Organismo/L	0	nd	nd	
Larvas De Helminto	Larvas/L	2	0	2	2
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	5	0	154	5
Copépodos	Organismo/L	0	nd	nd	
Nematodos en todos sus estadios evolutivos	Organismo/L	3	0	2	3
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	6	0	158	6
Protozoarios	Organismo/L	1	0	2	1
Rotíferos	Organismo/L	0	nd	nd	
Microcistina-LR	mg/L	0	nd	nd	

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

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3

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

4.2.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.4 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3. De manera referencial los resultados de este grupo de muestras han sido

comparados también con el ECA Categoría 4. Como se puede observar, no se detectaron valores de cromo hexavalente, sulfuro, DBO5, SAAM, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuro, nitrito, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 3 y 4.

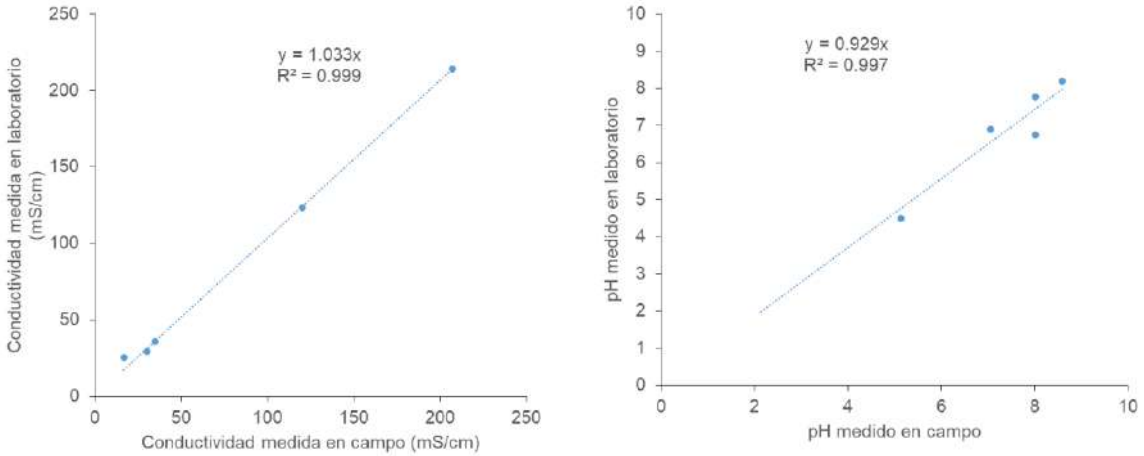
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Color Verdadero	UC	5	8.4	56.2	3
Turbidez	NTU	5	0.9	56.6	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	4	4.7	98.3	
Conductividad	uS/cm	5	25.3	214	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	15	120	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	1	44	44	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	nd	nd	
Potencial de Hidrógeno	pH	5	4.5	8.2	5
Amoníaco	mg NH3/L	5	0.052	0.086	
Fósforo Total	mg P/L	1	0.01	0.01	
Sulfuro	mgS2-/l	0	nd	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	5	5	20	
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	
Turbidez (campo)	NTU	5	2	65	
Conductividad (campo)	uS/cm	5	16.78	207	
Temperatura (campo)	°C	5	12	14.3	
Potencial de Hidrógeno. (campo)	pH	5	5.14	8.59	5
Medición de Caudal (campo)	m3/s	5	0.03358	1.945	
Oxígeno Disuelto. (campo)	mg/L	5	5.95	6.89	
Bromuro	mg/L	0	nd	nd	
Cloruro	mg/L	4	0.062	0.706	
Fluoruro	mg/L	3	0.005	0.041	
Nitrito (como N)	mg/L	0	nd	nd	
Nitrato (como N)	mg/L	4	0.018	0.03	
Nitrito	mg/L	0	nd	nd	
Nitrato	mg/L	4	0.08	0.133	
Fosfato	mg/L	0	nd	nd	
Sulfato	mg/L	5	4.46	24.23	

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

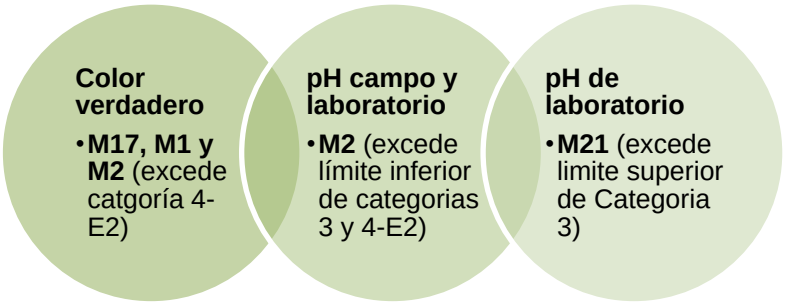
Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 16.78 y 2207 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 25.3 y 214 µS/cm mostrando en ambos casos concordancia (ver Figura 4.5).

Figura 4.5 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas Categoría 3



Los valores de pH registrados en campo variaron entre 5.14 y 8.59, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 4.5 y 8.2 (ver Figura 4.5). 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 la zona mineralizada lo que explicaría su bajo pH. El pH de laboratorio del punto M21 excedió el límite superior del ECA para la Categoría 3-D1 y 3D2 lo cual puede deberse a la presencia de rocas calizas en la cuenca alta. Los valores de color verdadero excedieron ligeramente el ECA para la Categoría 4-E2 en los puntos M17, M1 y M2 (ver Figura 4.6), aunque en M2 fue notoriamente mayor. Las excedencias en color, en M17 y M1 están dentro del margen de incertidumbre. En el caso de M2, el color podría estar relacionado a la presencia de sustancias húmicas de las aguas del bofedal sobre el cual está ubicado este punto.

Figura 4.6 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 0.56. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 15 y 120 mg/L. De manera similar a lo ocurrido con la alcalinidad total y conductividad eléctrica, los menores valores de STD se presentaron en aquellos puntos con pH más ácido y es posible notar que tanto la conductividad como la alcalinidad en general aumentan conforme

las aguas discurren hacia aguas abajo. La alcalinidad fue nula en puntos que presentaron un pH ácido y alta en aquellos puntos que presentaron un pH alcalino.

Las concentraciones de nitratos (como NO_3) variaron de 0.08 a 0.133 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. Las concentraciones de amoniaco fueron en general bajas (de 0.052 a 0.086 mg/L). Las concentraciones de sulfato varían entre 4.46 y 24.23 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 3 siendo el anión predominante en M2 y M21B. Las concentraciones de cloruros varían de 0.062 a 0.706 mg/L y fue detectado en todos los puntos salvo M2. Los fluoruros fueron detectados en 2 puntos: M21 y M21B, en concentraciones de 0.005 a 0.041 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, cobalto, cobre, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, potasio, silicio, sodio, titanio y zinc estuvieron presentes en todos los puntos de monitoreo. No se detectó la presencia de antimonio, berilio, bismuto, boro, cadmio, cromo, estaño, fósforo, germanio, hafnio, lantano, lutecio, mercurio, niobio, plata, selenio, talio, tantalio, teluro, thorio, wolframio e yterbio ni en su forma total ni en su forma disuelta.

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

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	5	0.163	1.923	5	0.089	0.399
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	1	0.00112	0.00112	0	nd	nd
Bario	mg/L	5	0.0087	0.0191	5	0.007	0.0155
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	5	0.477	37.754	5	0.467	35.668
Cerio	mg/L	1	0.00155	0.00155	0	nd	nd
Cesio	mg/L	1	0.0005	0.0005	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	5	0.00015	0.00146	5	0.00012	0.00116
Cobre	mg/L	5	0.00168	0.1615	5	0.00161	0.1516
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	5	0.0035	0.1403	5	0.0032	0.1394
Fósforo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Galio	mg/L	1	0.00052	0.00052	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	0.1668	1.7604	5	0.0465	0.3203

Parámetro	Unidad	Metales Totales			Metales Disueltos		
		# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	1	0.0011	0.0011	0	nd	nd
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	5	0.223	2.705	5	0.214	2.419
Manganeso	mg/L	5	0.0152	0.03214	5	0.01428	0.03064
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	1	0.00072	0.00072	0	nd	nd
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	4	0.0007	0.0015	1	0.0008	0.0008
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	3	0.0007	0.0012	2	0.0006	0.0008
Potasio	mg/L	5	0.5	1.17	5	0.46	0.76
Rubidio	mg/L	5	0.0011	0.0049	4	0.0011	0.0014
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	5	4.12	8.27	5	3.4	6.7
Silicio	mg/L	5	1.93	3.87	5	1.59	3.13
Sodio	mg/L	5	0.231	1.629	5	0.218	1.611
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	5	0.0007	0.026	3	0.0009	0.001
Uranio	mg/L	1	0.000073	0.000073	1	0.000071	0.000071
Vanadio	mg/L	1	0.003	0.003	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Zinc	mg/L	5	0.0041	0.0285	5	0.0038	0.0246
Zirconio	mg/L	1	0.00079	0.00079	0	nd	nd

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

El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.477 a 37.754 mg/L en su forma total. Le sigue en importancia sílice, silicio, magnesio, potasio, aluminio y sodio. Es notorio el incremento de las concentraciones de calcio y magnesio conforme las aguas discurren hacia aguas abajo.

El cobre total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en punto M2, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. Esta ligera excedencia estaría relacionada con la geología de la zona.

Figura 4.7 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 coliformes fecales fueron detectados en M17, pero con un máximo de 2 NMP/mL, por lo que los ECA para las categorías 3 y 4 no fueron excedidos. No se detectó la presencia de E. Coli, ni huevos de helmintos.

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	nd	2	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Detección y/o cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	0	0	0	

nd = no detectado

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 1 punto con Categoría 4 (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 la laguna Mamacocha (M22).

Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4 (M22)

Parámetro	Unidad	M22	Excede ECA
Clorofila A	mg/L	nd	
Color Verdadero	UC	10.5	
Turbidez	NTU	1.1	
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	nd	
Conductividad	uS/cm	33.1	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	20	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	nd	
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd	
Potencial de Hidrógeno	pH	4.05	1
Amoníaco	mg NH3/L	0.012	
Nitrógeno Total	mg N/L	0.26	
Fósforo Total	mg P/L	nd	
Sulfuro	mgS2-/l	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd	
Aceites y Grasas	mg/L	nd	
Cianuro Libre	mg/L	nd	
Fenoles	mg/L	nd	
Turbidez (campo)	NTU	2.81	

Parámetro	Unidad	M22	Excede ECA
Conductividad (campo)	uS/cm	27.3	
Temperatura (campo)	°C	10.8	
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	4.38	1
Oxígeno Disuelto (campo).	mg/L	6.59	
Bromuro	mg/L	nd	
Cloruro	mg/L	0.162	
Fluoruro	mg/L	0.012	
Nitrito (como N)	mg/L	0.003	
Nitrato (como N)	mg/L	0.067	
Nitrito	mg/L	0.01	
Nitrato	mg/L	0.298	
Fosfato	mg/L	nd	
Sulfato	mg/L	6.21	

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

Como se puede observar, no se detectaron valores de clorofila A, alcalinidad total, STS, cromo hexavalente total, fósforo total, sulfuro, DBO5, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, bromuro, ni fosfatos en el punto analizado. El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores ácidos, excediendo los ECA en el punto M22. Esto se debería a que este punto se encuentra alrededor del área mineralizada.

Figura 4.8 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 4

Al igual que en el resto de los puntos de otras categorías, existe una muy buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. El valor de campo fue 27.3 µS/cm, mientras que el valor de laboratorio 33.1 µS/cm. Asimismo, las concentraciones de STD medidas en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.60. la concentración de STD fue 20 mg/L.

En cuanto los nutrientes, se registraron tanto nitratos (0.298 mg/L) como nitritos (0.01 mg/L). La concentración de amoniaco fue0.012 mg NH_3/L. La concentración de sulfato fue 6.21 mg/Lsiendo el anión predominante. Los cloruros y fluoruros también fueron detectados en este punto.

4.3.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.8 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 4.

Las muestras obtenidas de las lagunas exhiben la presencia de aluminio, bario, calcio, cobalto, cobre, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sílice, silicio, sodio y zinc. Ningún metal detectado superó los ECA para la categoría.

Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4 (M22)

Parámetro	Unidad	Metales Totales	Metales Disueltos
Aluminio	mg/L	0.281	0.24
Antimonio	mg/L	nd	nd
Arsénico	mg/L	nd	nd
Bario	mg/L	0.0023	0.0020
Berilio	mg/L	nd	nd
Bismuto	mg/L	nd	nd
Boro	mg/L	nd	nd
Cadmio	mg/L	nd	nd
Calcio	mg/L	1.063	0.812
Cerio	mg/L	nd	nd
Cesio	mg/L	nd	nd
Cobalto	mg/L	0.00069	0.00052
Cobre	mg/L	0.00227	0.00202
Cromo	mg/L	nd	nd
Estaño	mg/L	nd	nd
Estroncio	mg/L	0.0049	0.0045
Fósforo	mg/L	nd	nd
Galio	mg/L	nd	nd
Germanio	mg/L	nd	nd
Hafnio	mg/L	nd	nd
Hierro	mg/L	0.2699	0.0716
Lantano	mg/L	nd	nd
Litio	mg/L	nd	nd
Lutecio	mg/L	nd	nd
Magnesio	mg/L	0.259	0.247
Manganeso	mg/L	0.02025	0.01146
Mercurio	mg/L	nd	nd
Molibdeno	mg/L	nd	nd
Niobio	mg/L	nd	nd
Níquel	mg/L	nd	nd
Plata	mg/L	nd	nd
Plomo	mg/L	nd	nd
Potasio	mg/L	0.15	0.14
Rubidio	mg/L	nd	nd
Selenio	mg/L	nd	nd
Sílice	mg/L	0.54	0.3
Silicio	mg/L	0.25	0.14
Sodio	mg/L	0.216	0.202
Talio	mg/L	nd	nd
Tantalio	mg/L	nd	nd
Teluro	mg/L	nd	nd

Parámetro	Unidad	Metales Totales	Metales Disueltos
Thorio	mg/L	nd	nd
Titanio	mg/L	nd	nd
Uranio	mg/L	nd	nd
Vanadio	mg/L	nd	nd
Wolframio	mg/L	nd	nd
Yterbio	mg/L	nd	nd
Zinc	mg/L	0.0499	0.0466
Zirconio	mg/L	nd	nd

nd: no detectado

4.3.3 Microbiológicos y parasitológicos

Se tomaron muestras para el análisis de coliformes fecales y estos no fueron detectados en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 4.

4.4 Agua subterránea

La Tabla A.4 muestra los resultados de los análisis de laboratorio de los principales constituyentes para aguas subterráneas (P11), 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 (245 mg/L). La conductividad de la muestra fue de 410 µS/cm en laboratorio y 405 en campo. La relación STD/Conductividad observada en la muestra de agua subterránea es igual a 0.60, valor similar al observado en el caso de las aguas superficiales. El pH medido tanto en campo como en laboratorio fue ligeramente alcalino (7.72 y 7.54 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, magnesio, sílice, silicio y sodio registraron las mayores concentraciones de metales, con una concentración de más de 1 mg/L, el estroncio, 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, el boro y el zinc registraron 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 4.10 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 ha incluido se han incluido fluoruros (F^-) y nitratos (NO_3^{-2}). Esto debido a que dichos iones han sido detectados en importante porcentaje con respecto al resto. En monitoreos anteriores se

incluyó el aluminio en la lista de cationes, pero con fines de mantener el estándar aceptado académicamente, en este monitoreo dicho metal no ha sido considerado.

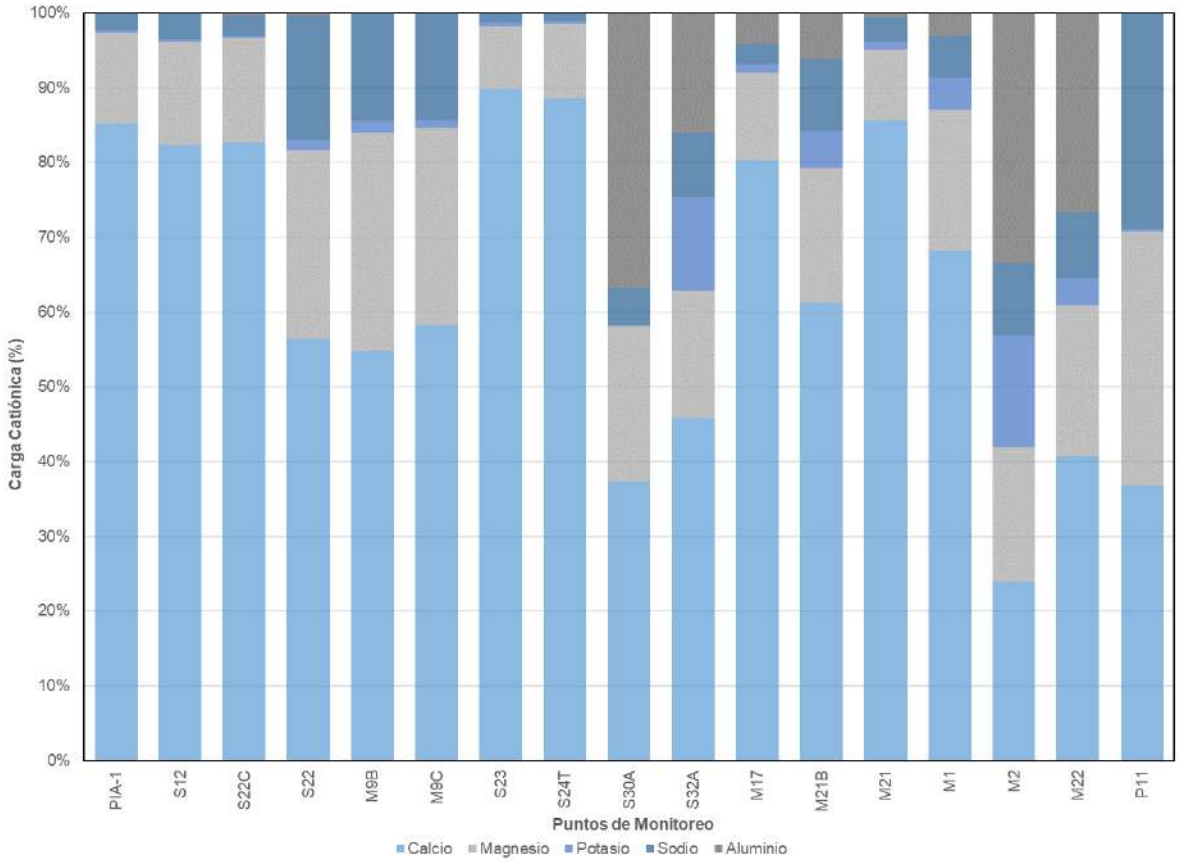
El calcio es el catión predominante en 12 de las 17 muestras tomadas en la Zona I, variando desde el 55% hasta el 90% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 74%. En los puntos restantes se tiene una carga mixta. La Figura 4.9 muestra la distribución de la carga catiónica total por punto de monitoreo.

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

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
PIA-1	3.749	0.017	0.056	0.000	0.499	0.033	3.938	0.565	0.014	0.106	0.000
S12	3.052	0.022	0.037	0.006	0.680	0.051	2.159	0.361	0.009	0.089	0.003
S22C	1.592	0.006	0.015	0.003	0.351	0.013	1.137	0.193	0.004	0.038	0.004
S22	0.701	0.000	0.005	0.002	0.098	0.019	0.468	0.208	0.011	0.138	0.003
M9B	0.480	0.000	0.002	0.001	0.055	0.008	0.249	0.133	0.007	0.065	0.000
M9C	0.531	0.001	0.000	0.002	0.047	0.000	0.288	0.131	0.005	0.070	0.000
S23	2.543	0.010	0.003	0.000	0.187	0.000	2.664	0.247	0.016	0.037	0.000
S24T	3.451	0.009	0.089	0.005	1.251	0.087	3.890	0.438	0.015	0.049	0.000
S30A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.006	0.022	0.012	0.000	0.003	0.022
S32A	0.000	0.000	0.003	0.000	0.036	0.010	0.033	0.012	0.009	0.006	0.011
M17	0.927	0.010	0.008	0.001	0.250	0.002	0.876	0.129	0.012	0.031	0.044
M21B	0.092	0.001	0.002	0.000	0.146	0.000	0.151	0.045	0.013	0.024	0.015
M21	1.888	0.074	0.020	0.002	0.504	0.002	1.783	0.198	0.019	0.070	0.012
M1	0.156	0.000	0.002	0.000	0.127	0.002	0.221	0.061	0.014	0.018	0.010
M2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093	0.001	0.023	0.018	0.015	0.009	0.033
M22	0.000	0.000	0.005	0.001	0.129	0.005	0.041	0.020	0.004	0.009	0.027
P11	3.961	0.021	0.015	0.011	0.259	0.018	1.743	1.606	0.017	1.363	0.000

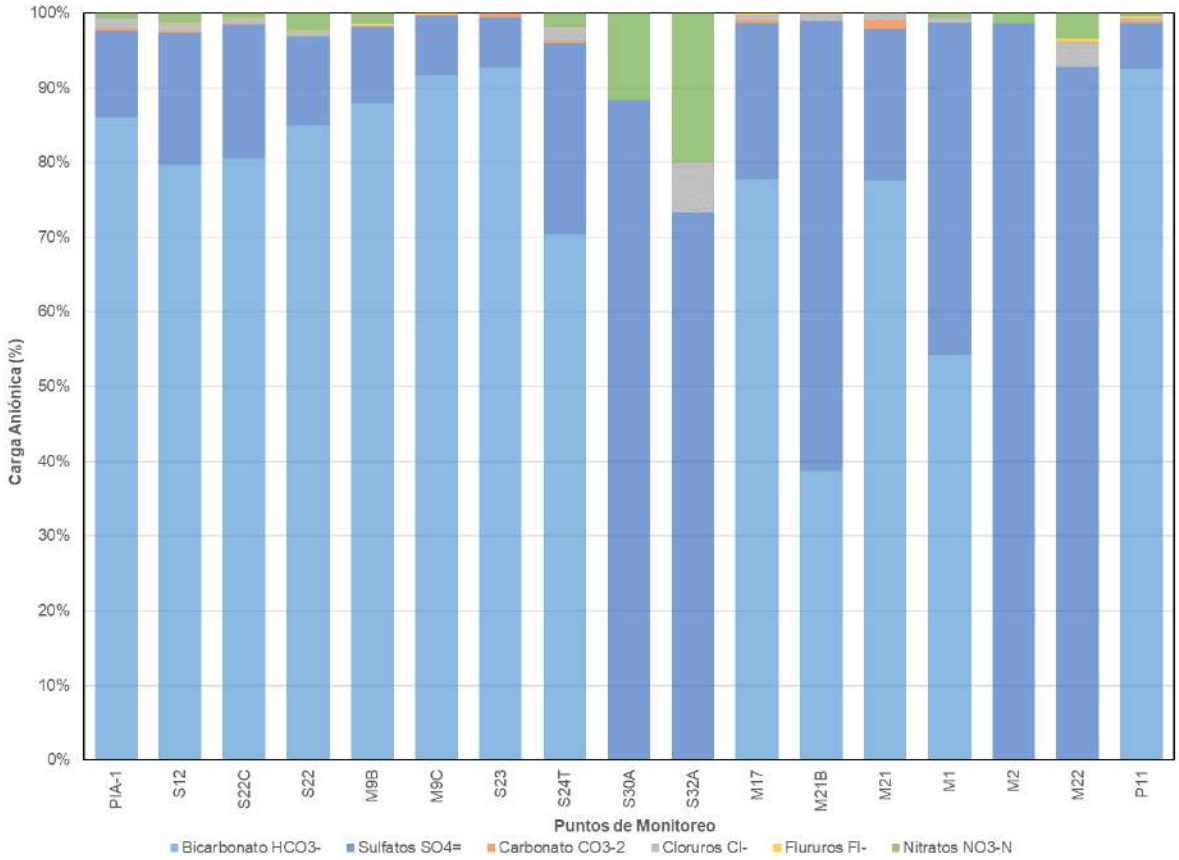
Nota: HCO3- bicarbonato, CO3-2 carbonato, Cl- cloruros, F- fluoruros, SO4-2 sulfatos, NO3-, nitratos, Ca+2 calcio, Mg+2 magnesio, K+ potasio, Na+ sodio, Al+3 aluminio, Todas las concentraciones son mostradas en miliequivalentes/L (meq/L).

Figura 4.9 Distribución de carga catiónica en los puntos de monitoreo



De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 81% de la carga aniónica total (CAT) en 12 de 17 muestras de agua. En 5 puntos el anión predominante es el sulfato con un promedio de 83% de la CAT. La Figura 4.10 muestra la distribución de la carga aniónica total por punto de monitoreo.

Figura 4.10 Distribución de carga aniónica en los puntos de monitoreo



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

Tabla 4.10 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
PIA-1	7.64	188.30	421.0	251.0	Ca	HCO3	Tipo I
S12	7.38	153.70	290.3	166.0	Ca	HCO3	Tipo I
S22C	6.83	79.90	163.7	94.0	Ca	HCO3	Tipo I
S22	5.93	35.10	83.0	50.0	Ca	HCO3	Tipo I
M9B	6.19	24.00	51.3	30.0	Ca	HCO3	Tipo I
M9C	6.55	26.60	57.8	35.0	Ca	HCO3	Tipo I
S23	7.64	127.70	308.0	192.0	Ca	HCO3	Tipo I
S24T	7.52	173.00	409.0	252.0	Ca	HCO3	Tipo I
S30A	4.08	0.00	17.7	10.0	Ca-Al-Mg	SO4	Tipo V
S32A	4.71	0.00	12.5	10.0	Ca-Al-Mg	SO4	Tipo V
M17	7.77	46.90	123.3	69.0	Ca	HCO3	Tipo I
M21B	6.75	4.70	29.2	17.0	Ca	SO4	Tipo III
M21	8.20	98.30	214.0	120.0	Ca	HCO3	Tipo I

Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
M1	6.90	7.80	35.9	21.0	Ca	HCO3	Tipo I
M2	4.50	0.00	25.3	15.0	Ca-Al-Mg	SO4	Tipo V
M22	4.05	0.00	33.1	20.0	Ca-Al-Mg	SO4	Tipo V
P11	7.54	199.10	410.0	245.0	Ca-Mg	HCO3	Tipo II

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 PIA-1, S12, S22C, S23, S24T, M21. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (94 a 252 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (79.9 a 188.3 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.83 a 8.20). Asimismo, fue encontrada en los puntos M9B, M9C y S22, M17 y M1, pero con bajas concentraciones de STD (21 a 69 mg/L), baja alcalinidad (7.8 a 46.9 mg CACO3/L) y pH neutral a ácido (5.93 – 7.77). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo II: Bicarbonatada - Mixta. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras P11. El anión predominante fue el bicarbonato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH alcalino y altas concentraciones de alcalinidad (199.1 mg/L) y STD (245 mg/L).
- Tipo III: Sulfatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M21B. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (<20 mg/L), una alcalinidad muy baja (<5 mg CACO3/L) y un pH ligeramente ácido (6.75) En estas aguas el catión predominante es el calcio y el anión predominante es el sulfato.
- Tipo V: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S30A, S32A, M2 y M22. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH ácido (4.05 a 4.71), alcalinidad nula, baja concentración de STD (<24 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<50 uS/cm).

Figura 4.11 Clasificación hidroquímica

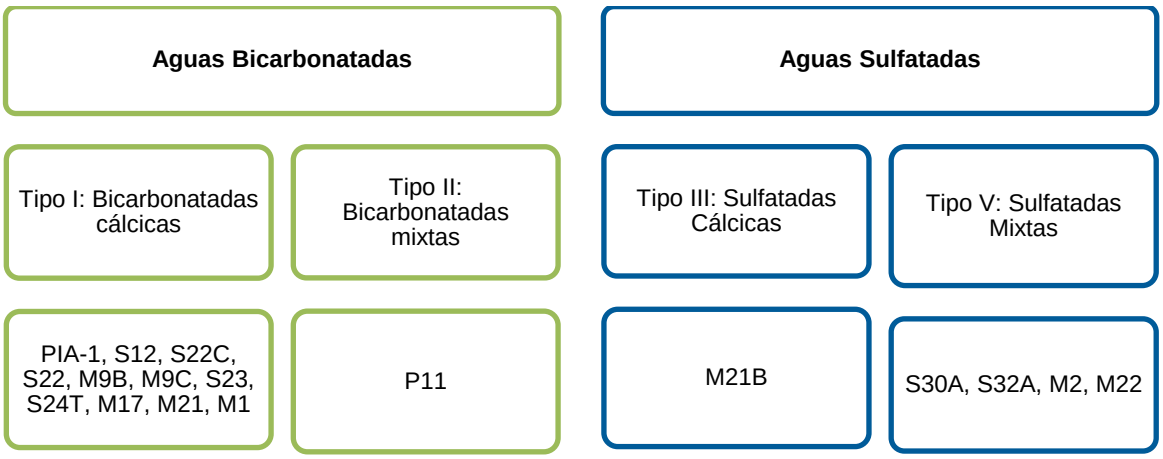
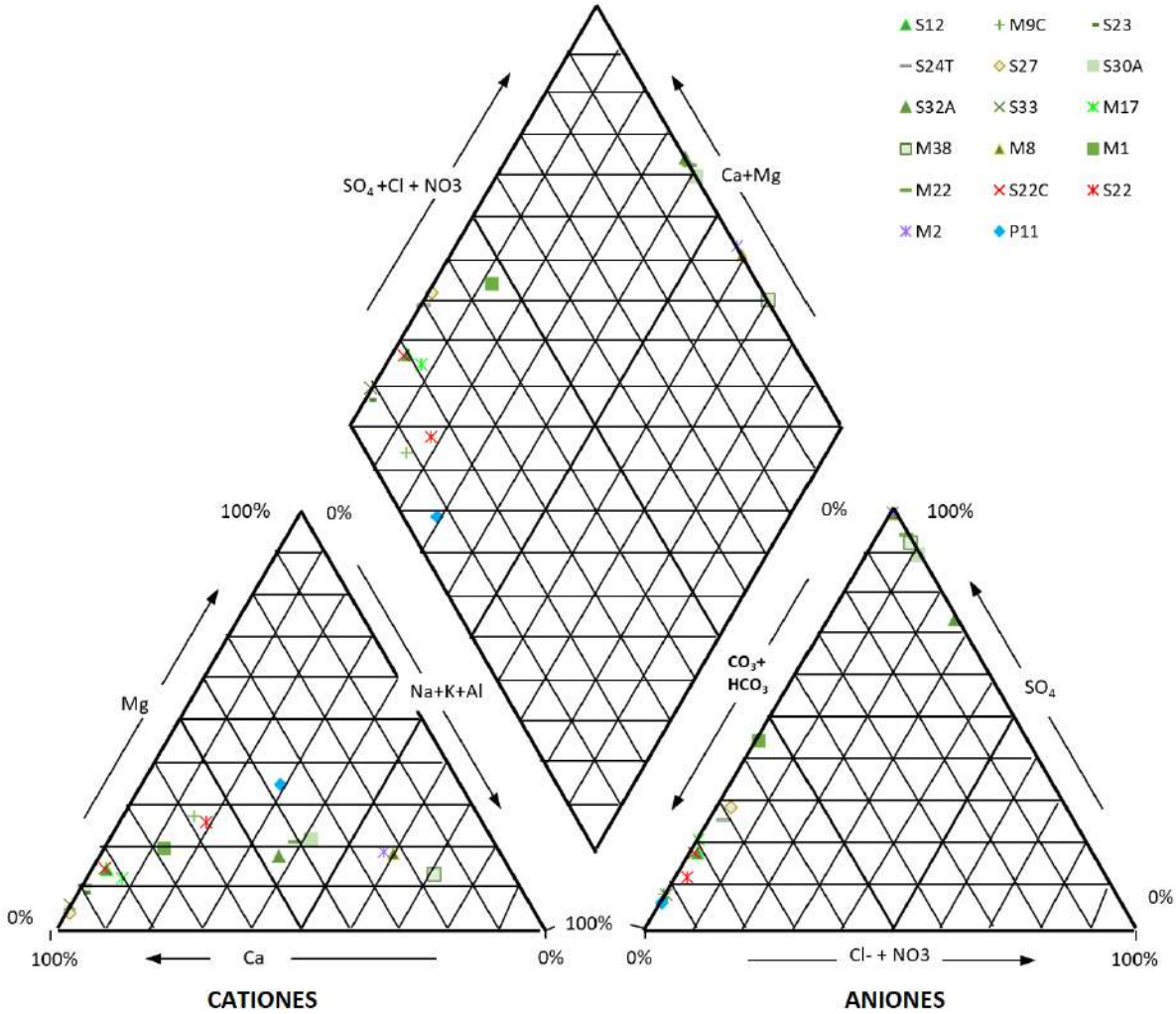


Figura 4.12 Diagrama Piper



Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.12) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). En el campo triangular izquierdo se grafica el porcentaje de los valores de los tres grupos de cationes (Ca2+, Mg2+, Na+, K+). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO3-, CO3 -2 SO4-2 y Cl-). El diamante central es usado para mostrar todo el carácter químico del agua como un tercer punto.

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

5 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. Con excepción de S3, todos los puntos del proyecto PIASSA presentaron un pH mayor que 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. Estos valores de pH estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. La conductividad varió entre 6.4 y 421 µS/cm y la temperatura de 11.1 a 13.5 °C. El oxígeno disuelto se presentó ligeramente por debajo del límite inferior de los ECA en S2, S30D y S34B. Los caudales fueron medidos en todos los puntos mediante el método volumétrico. El manantial S7 (Uñigán) presentó el mayor flujo en la zona, registrando 2.64 L/s.

Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 1-A1

Punto	Fecha	Hora	pH	CE (µS/cm)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
ECA Categoría 1-A1			6.5 – 8.5	1500	≥ 6	-	5	-
S30B	27/11/2020	09:30:00	5.16	6.4	6.88	11.1	0.7	0.7
S30C	27/11/2020	09:48:00	4.73	32.8	5.59	11	0.5	1.064
S30D	27/11/2020	10:30:00	5.02	38	3.8	11.8	0.4	
S34B	27/11/2020	11:48:00	4.46	11.16	6.21	12	0	2.17
S1	1/12/2020	10:00:00	6.51	38.8	6.71	13.5	0.85	0.86
S7	1/12/2020	10:12:00	7.53	411	6.84	12.5	0.73	2.64
S5	1/12/2020	10:45:00	7.47	381	6.28	12.8	1.1	0.241
S8	1/12/2020	10:50:00	7.39	379	6.35	12.6	1.03	0.51
S4	1/12/2020	11:05:00	7.43	262	6.32	12.6	1.02	0.217
S3	1/12/2020	11:30:00	6.2	38.5	6.67	13.3	0.76	1.29
S2	1/12/2020	11:40:00	7.1	166.1	5.93	13	0.87	0.39

5.2 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los puntos establecidos para el registro de solo parámetros de campo en la Zona I, nueve (9) 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 S21A por encontrarse seco. 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 (µS/cm)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
ECA	**Categoría 3-D1**		6.5 – 8.5	2500	4	-	-	-
	Categoría 3-D2		6.5 – 8.4	5000	5	-	-	-
	Categoría 4-E1		6.5 – 9.0	1000	≥5	-	-	-
S21E	25/11/2020	08:55:00	6.64	46.8	6.51	13.5	2.2	0.77
S21D	25/11/2020	09:23:00	5.87	34.8	5.05	11.5	0.9	0.61
S21C	25/11/2020	09:43:00	6.60	44.6	6.37	14.9	2.4	-
S21B	25/11/2020	10:03:00	7.25	45.1	4.90	15.0	7.4	-
S21A	25/11/2020	10:37:00	-	-	-	-	-	seco
S20A	25/11/2020	11:50:00	7.51	445	5.58	13.9	19	0.06
S20B	25/11/2020	12:24:00	8.13	353	4.12	13.5	11.9	-
S34A	27/11/2020	11:06:00	4.95	7.34	6.65	11.9	0	2.43
M37	26/11/2020	11:14:00	5.98	14.68	5.47	16.5	0.5	3.17
M5	26/11/2020	09:35:00	5.70	7.48	6.70	11.6	2.2	-
M4	26/11/2020	10:20:00	5.42	5.58	5.84	13.7	0.9	-

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 (4.95 a 8.13). Los valores más ácidos se presentaron en S34A, así como en las lagunas Cama de los Shingos (M4), Kerosene (M5) excediendo los ECA para la categoría 4. Estos valores de pH estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican.

La conductividad eléctrica varía entre 7.34 y 176.2 uS/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 11.5 y 16.5 °C. El oxígeno disuelto excedió los ECA para la Categoría 3 D2 en S21B y S20B, lo que podría deberse a la estanqueidad de las aguas o a la presencia de bacterias que consumen el oxígeno presente en las aguas.

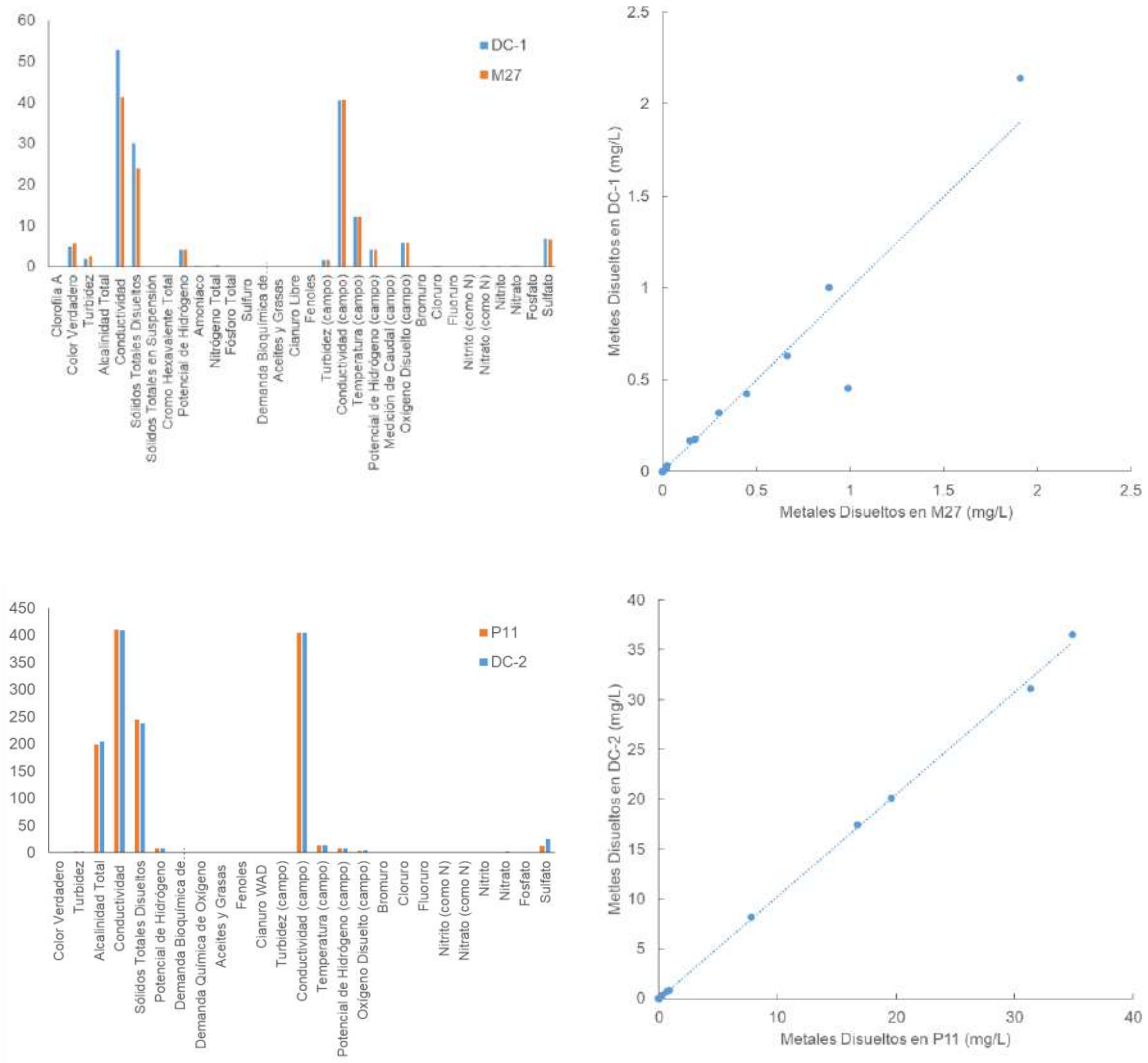
En todos los casos se pudo observar aguas transparentes, como escasa o nula presencia de sólidos en suspensión.

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 %
PIA-1	4.35417	4.6220	0.2679	3.0%
S12	3.84816	2.6209	-1.2273	-19.0%
S22C	1.98054	1.3764	-0.6041	-18.0%
S22	0.82658	0.8284	0.0018	0.1%
M9B	0.54598	0.4544	-0.0916	-9.2%
M9C	0.58045	0.4944	-0.0860	-8.0%
S23	2.74412	2.9639	0.2197	3.8%
S24T	4.89733	4.3924	-0.5050	-5.4%
S30A	0.05062	0.0850	0.0344	25.4%
S32A	0.04881	0.0809	0.0321	24.7%
M17	1.19878	1.0917	-0.1070	-4.7%
M21B	0.24275	0.2469	0.0042	0.9%
M21	2.49427	2.0832	-0.4111	-9.0%
M1	0.28726	0.3236	0.0364	6.0%
M2	0.09411	0.1049	0.0107	5.4%
M22	0.13967	0.1416	0.0019	0.7%
P11	4.28390	4.7285	0.4446	4.9%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de S12, S22C, S30A, S32A, cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS. Por otro lado, en los mencionados puntos, con excepción de S12 y S22C, la diferencia entre cationes y aniones cumple con el primer criterio del *Standard Method*. Debido a lo anterior, los resultados pueden ser considerados como válidos. Sin perjuicio de lo anterior, es importante que el propio laboratorio de análisis efectúe un balance iónico interno antes de emitir los resultados. Especial atención requieren los puntos con pH muy ácido, que son coincidentemente aquellos en el balance iónico presentó mayor desviación.

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

6.3.2 Revisión cruzada de parámetros

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

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

Se verificó que en todos los casos las concentraciones de metales totales fueron superiores a las de los correspondientes metales disueltos. Se verifico, además, 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 de campo excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S30A, S32A, mientras que el pH de laboratorio los excedió en S22, M9B, S30A, S32A. El Color verdadero excedió los ECA para la categoría n los puntos S22, S23, S30A. El agua de los puntos S30A y S32A procede de la misma ubicación geográfica y las características de acidez estaría relacionada con la geología de la zona; de manera similar ocurre con M9B y S22, aunque en ambos casos el pH de campo cumplió los ECA y fue el pH de laboratorio el que se encontró por debajo, lo cual podría deberse a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis de laboratorio. En el caso de las excedencias en color, en S22 y S30A estas son muy ligeras (15.4 y 16.1 UC respectivamente con respecto al ECA que es 15 UC) y los resultados están dentro del margen de incertidumbre. En el caso de S23, el valor del color tampoco es muy alto (20.3 UC) y podría estar relacionado a la presencia de sustancias húmicas de las aguas que filtran en la zona pantanosa aledaña a la captación y/o zona de emplazamiento del reservorio.
- Solo el hierro total excedió ligeramente los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S22C y S30A (0.3554 y 0.4529 mg/L respectivamente, mientras que el ECA es 0.3 mg/L). La presencia de hierro en S22C y S32A ha sido notada en todos los monitoreos precedentes, aunque es la primera vez que supera el ECA en S32A. Su presencia estaría relacionada a la zona mineralizada.
- Las formas parasitarias fueron detectadas en 4 puntos (S12, S22C, S30A y S32A) y las larvas de helminto fueron detectadas en dos puntos, S30A y S32A, con valores de hasta 2 organismos/L excediendo el ECA para la categoría. Los organismos de vida libre estuvieron presentes en 5 puntos de monitoreo en forma de algas, en 3 en forma de nemátodos en todos sus estadios y en 2 puntos en forma de protozoarios. El punto con mayor presencia de algas fue S32A (154 organismos/L); en todos los casos se excedió el ECA para la categoría.
- La presencia de nemátodos, formas parasitarias y larvas de helmintos es muy baja (cerca de cero) y en estos puntos se requeriría una mayor atención a la limpieza de tanques. La presencia de algas ocurre casi en todos los lugares donde se almacena el agua ya que cuando el agua está estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. La presencia de algas es otro indicador de que es necesario prestar atención a la limpieza de tanques.

Aguas Categoría 3:

- Los valores de pH registrados en campo variaron entre 5.14 y 8.59, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 4.5 y 8.2. 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 la zona mineralizada lo que explicaría su bajo pH. . El pH de laboratorio del punto M21 excedió el límite superior del ECA para la Categoría 3-D1 y 3D2 lo cual puede deberse a la presencia de rocas calizas en la cuenca alta.
- Los valores de color verdadero excedieron ligeramente el ECA para la Categoría 4-E2 en los puntos M17, M1 y M2, aunque en M2 fue notoriamente mayor. Las excedencias en color, en M17 y M1 están dentro del margen de incertidumbre. En el caso de M2, el color podría estar relacionado a la presencia de sustancias húmicas de las aguas del bofedal sobre el cual está ubicado este punto

- El cobre total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en punto M2, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3. Esta ligera excedencia estaría relacionada con la geología de la zona.

Aguas Categoría 4:

- El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores ácidos, excediendo los ECA en el punto M22. Esto se debería a que este punto se encuentra alrededor del área mineralizada.

Agua subterránea:

- En la muestra de agua subterránea (P11) solo el valor del oxígeno disuelto excedió los ECA para la categoría 3 (usados de manera referencial). Esto es esperable en aguas de esta naturaleza debido al limitado movimiento de estas.

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 valores de pH estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. El oxígeno disuelto se presentó ligeramente por debajo del límite inferior de los ECA en S2, S30D y S34B.
- Aguas Categoría 3 y 4: El pH de los puntos evaluados varió de ácido a alcalino (4.95 a 8.13). Los valores más ácidos se presentaron en S34A, así como en las lagunas Cama de los Shingos (M4), Kerosene (M5) excediendo los ECA para la categoría 4. Estos valores de pH estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. El oxígeno disuelto excedió los ECA para la Categoría en 3-D2 en S21B y S20B, lo que podría deberse a la estanqueidad de las aguas o a la presencia de bacterias que consumen el oxígeno presente en las aguas.

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

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras PIA-1, S12, S22C, S23, S24T, M21. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (94 a 252 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (79.9 a 188.3 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.83 a 8.20). Asimismo, fue encontrada en los puntos M9B, M9C y S22, M17 y M1, pero con bajas concentraciones de STD (21 a 69 mg/L), baja alcalinidad (7.8 a 46.9 mg CACO3/L) y pH neutral a ácido (5.93 – 7.77). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo II: Bicarbonatada - Mixta. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras P11. El anión predominante fue el bicarbonato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH alcalino y altas concentraciones de alcalinidad (199.1 mg/L) y STD (245 mg/L).
- Tipo III: Sulfatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M21B. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (<20 mg/L), una alcalinidad muy baja (<5 mg CACO3/L) y un pH ligeramente ácido (6.75) En estas aguas el catión predominante es el calcio y el anión predominante es el sulfato.
- Tipo V: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S30A, S32A, M2 y M22. El anión predominante es el sulfato mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total. Presentan un pH ácido (4.05 a 4.71), alcalinidad nula, baja concentración de STD (<24 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<50 uS/cm).

En base a los controles de calidad aplicados, se puede indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento y transporte no han generado algún tipo de distorsión en las muestras y los análisis pueden ser considerados representativos. Asimismo, el control de calidad de resultados de laboratorio indica que estos pueden ser considerados representativos de las muestras. Sin perjuicio de lo anterior, es importante que el propio laboratorio de análisis efectúe un balance iónico interno antes de emitir los

resultados. Especial atención requieren los puntos con pH muy ácido, que son coincidentemente aquellos en el balance iónico presentó mayor desviación.

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

8 Referencias

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Appelo y Postma (2005). Geochemistry, Groundwater and Pollution.

Autoridad Nacional del Agua (2016). Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales.

Ministerio del Ambiente, Perú (2010). Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas.

Ministerio del Ambiente, Perú (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

United Nations Environment Programme - World Health Organization WHO (1996). Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes.