PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2019

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, FEBRERO 2020



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Introducción	4
1.2	Participación de la población local	4
2	UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	6
2.1	Puntos de monitoreo con toma de muestra	6
2.2	Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo	6
3	METODOLOGÍA	8
3.1	Medición de parámetros in-situ	8
3.2	Medición de caudales	9
3.3	Muestreo para el análisis de laboratorio	11
3.4	Control de calidad	13
3.5	Estándares y guías aplicadas	14
3.6	Laboratorio de análisis	14
4	RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA	16
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	16
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	16
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	19
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	20
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	21
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	21
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	23
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	25
4.3	Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4	25
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos	25
4.3.2	Inorgánicos (Metales)	27
4.3.3	Microbiológicos y parasitológicos	28
4.4	Agua subterránea	28
4.5	Pasivos ambientales ¡Error! Marcador n	o definido.
4.6	Evaluación Hidroquímica	29
5	RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETRO CAMPO	OS DE 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	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua	6
Tabla 2.2 Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo	7
Tabla 3.1 Listado de parámetros medidos en campo	8
Tabla 3.2 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo	8
Tabla 3.3 Flujos registrados en campo	10
Tabla 3.4 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría	12
Tabla 3.5 Listado de muestras de control de calidad	13
Tabla 3.6 Informes de ensayo de laboratorio	14
Tabla 4.1 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A	116
Tabla 4.2 Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1	19
Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1	21
Tabla 4.4 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3	22
Tabla 4.5 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3	24
Tabla 4.6 Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3	25
Tabla 4.7 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4	26
Tabla 4.8 Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 4	27
Tabla 4.10 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)	29
Tabla 4.11 lones 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 2.1 Distribución de las muestras programadas y efectuadas según categoría	6
Figura 3.1 Procedimiento de muestreo	11
Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1	. 17
Figura 4.2 Clasificación de las aguas Categoría 1-A1 según su dureza, pH, STD y alcalinidad	18
Figura 4.3 Parámetros microbiológicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1	. 21
Figura 4.4 Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad	. 23
Figura 4.5 Clasificación hidroquímica	. 31
Figura 4.6 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 monitoreo
- Anexo D Fichas de identificación de puntos de monitoreo
- Anexo E Fichas de información de campo
- Anexo F Registros de aforo
- Anexo G Informes de ensayo de laboratorio



1 Introducción

1.1 Introducción

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

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

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

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

1.2 Participación de la población local

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

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



Adicionalmente, asistieron las siguientes personas:

- 23 de noviembre de 2019. Sr. José Santiago Vera Bolaños, presidente de la JASS de Alto Yerba Buena; Sr. Marino Bautista Altamirano, jefe del PS de San Juan de Yerba Buena.
- 23 de noviembre de 2019. Sr. José Mantilla Murga, teniente gobernador de El Porvenir; Sr. Ylario Mantilla Murga, presidente de la JASS El Porvenir; Sr. Ernesto Cortez Tasilla, fiscalizador de la JASS; Sr. Marino Bautista Altamirano, jefe del PS de San Juan de Yerba Buena
- 25 de noviembre de 2019. Sr. Guillermo Mantilla, presidente PIASAA; Sr. Segundo Castrulo Casas Chuan, representante de PIASAA
- 25 de noviembre de 2019. Sra. Luisa Paola Chavarri Cueva, obstetra del PS Chamcas.
- 27 de noviembre de 2019. Sr. Cristóbal Huamán Cortez, secretario de la JASS Yerba Buena Alta
- 27 de noviembre de 2019. Sra. Mercedes Aguilar Cortez, presidenta de la JASS Guagayoc
- 28 de noviembre de 2019. Sr. Epifanio Alvarado Villanueva, presidente de la JASS Rodacocha y Sr. José Vásquez Cabrera, operario del sistema de Rodacocha.
- 30 de noviembre de 2019. Sr. William Huamán Soto, presidente de la JASS 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						
М9В	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	Si
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.

Figura 2.1 Distribución de las muestras programadas y efectuadas según categoría



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	<u>Seco</u>
S 7	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	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, uno no fue registrado:

• Punto S6. Manantial El Suro, el mismo que se encuentra seco.



3 Metodología

3.1 Medición de parámetros in-situ

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

Tabla 3.1 Listado de parámetros medidos en campo

Sonda	ID	Parámetro	Rango	Precisión	Tecnología de medición
0		Temperatura	-5.00 a +55.00°C	± 0.1 °C	CTN
Sonda pH/ORP	pH/ORP/T°C	рН	0.00 a 14.00 pH	± 0.1	Electrodo combinado con compensación de temperatura integrada
Sonc	Sonc PH/	ORP	-1000 a +1000 mV	± 2 mV	Electrodo combinado con compensación de temperatura integrada
Sonda Oxígeno	OPTOD	Oxígeno disuelto / T°C	0.00 a 20.00 mg/L 0.00 a 200% SAT	± 0.1 mg/L ± 1%	Óptica con compensación de temperatura integrada
Sonda Conduct.	C4E	Conductividad	0.0 a 200.0 μS/cm 0 a 2000 μS/cm 0.0 a 20.00 mS/cm 1.0 0.0 a 200.0 mS/cm	± 1%	Amperométrica 4 electrodos con compensación de temperatura
nda	0	Salinidad TDS	0.00 – 133000 ppm	± 0.5%	integrada
So		Salinidad	0 – 76 g/kg/PSU	± 1%	
Sonda Turbiedad	NTN	Turbiedad	0.00 a 50.0 NTU 0.0 a 200.0 NTU 0 a 1000 NTU 0 a 4000 NTU	± 1%	Nefelometría infrarroja con compensación de temperatura integrada

La tabla siguiente muestra los parámetros de campo registrados:

Tabla 3.2 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	рН	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Potencial de óxido reducción (mV)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
M9B	5.35	52.2	33.0	137.7	7.1	10.7	0.1
M9C	7.01	75.7	50.0	298.9	7.6	8.6	0.65
PIA1	7.19	355.7	228.0	104.0	6.8	10.3	2
S30A	5.64	32.6	21.0	403.6	7.6	11.2	2.37
S32A	5.36	25.7	17.0	336.7	6.8	13.4	0.1
S34	5.01	40.9	26.0	321.8	6.7	11.1	0.1



Punto	рН	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Potencial de óxido reducción (mV)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
S23	7.63	324.9	211.0	73.0	7.0	8.9	0.1
S24T	7.39	409.2	266.0	117.9	6.5	10.3	0.1
S22C	7.55	212.4	138.0	193.6	7.7	10.1	0.26
S22	6.28	111.6	72.0	209.9	7.1	9.2	0.16
S12	6.51	299.5	200.0	32.8	8.2	9.4	0.1
M1	5.75	40.3	26.0	116.2	6.8	10.3	6.7
M21	7.25	234.6	153.0	110.0	7.7	11.7	3.79
M21B	5.13	43.3	28.0	126.0	6.4	12.5	0.93
M17	8.04	170.6	111.0	99.7	8.3	9.5	0.82
M2	4.80	42.6	27.0	338.5	6.6	9.5	0.1
M22	4.70	36.5	24.0	206.0	5.5	11.4	4.72
P11	7.54	447.2	291.0	109.4	2.2	12.1	0.1
S1	7.68	412.6	269.0	62.0	6.3	10.3	1.33
S 7	7.58	479.8	311.0	101.0	5.8	11.2	0.1
S8	5.87	484.6	315.0	72.9	6.9	11.5	0.1
S 5	7.85	532.3	346.0	92.4	6.6	11.1	0.1
S4	7.85	218.3	141.0	59.2	6.2	10.5	0
S 3	5.84	61.6	43.0	135.0	6.7	16.0	0.1
S2	7.84	162.0	105.0	109.3	6.3	11.1	0.7
S30B	5.73	41.3	28.0	256.9	6.2	10.7	0.5
S30C	5.34	30.3	19.0	236.2	6.8	9.0	0.1
S30D	5.45	13.2	9.0	273.5	7.7	8.4	0.1
S34B	5.40	17.3	11.0	327.9	6.9	11.9	0.1
S21E	5.88	57.4	38.0	155.4	6.2	13.7	0.85
S21D	7.06	39.3	26.0	204.1	5.6	10.0	0.1
S21C	6.48	45.3	30.0	222.3	7.2	12.0	0.1
S21B	7.01	364.7	237.0	188.4	5.8	11.6	0.75
S21A	7.81	389.2	259.0	145.5	6.9	12.9	0.26
S20A	7.83	459.4	298.0	121.3	6.7	12.8	1.32
S20B	7.52	499.3	324.0	133.1	4.8	13.4	0.1
S34A	5.71	27.7	18.0	327.1	6.9	10.5	0.1
M4	4.15	13.9	8.0	160.8	6.6	10.3	0.1
M5	4.11	17.6	10.0	179.1	6.6	11.4	0.1
M37	5.02	42.0	30.0	409.9	8.0	9.0	3.65

3.2 Medición de caudales

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

• Método volumétrico. Principalmente usado en las captaciones de agua para consumo doméstico.



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

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

Tabla 3.3 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Método	Observación
M22	-	No aforado	Laguna
M9B	2.12	Volumétrico	
М9С	0.08	Volumétrico	
PIA1	10.25	Volumétrico	-
S30A	-	No aforado	No fue posible aforar ingreso por encontrarse muy profundo.
S32A	1.06	Volumétrico	-
S34	-	No aforado	No fue posible aforar ingreso por encontrarse muy profundo.
S23	1.21	Volumétrico	-
S24T	1.28	Volumétrico	-
S22C	0.69	Volumétrico	-
S22	-	No aforado	Tanque cerrado. Se tomó muestra del grifo.
S12	0.80	Volumétrico	-
M1	137.40	Área - Velocidad	-
M21	1321.60	Área - Velocidad	-
M21B	166.53	Área - Velocidad	-
M17	177.40	Área - Velocidad	-
M2	47.47	Área - Velocidad	-
M22	-	No aforado	Laguna
P11	0.56	Volumétrico	-
S1	2.18	Volumétrico	-
S7	4.73	Volumétrico	-
S6	-	No aforado	Seco
S8	1.85	Volumétrico	-
S5	0.21	Volumétrico	-
S4	0.35	Volumétrico	-
S3	1.53	Volumétrico	-
S2	1.58	Volumétrico	-
S30B	1.20	Volumétrico	-
S30C	2.34	Volumétrico	-
S30D	1.62	Volumétrico	-
S34A	3.33	Volumétrico	-
S34B	1.75	Volumétrico	-
S21E	1.62	Volumétrico	-
S21D	0.30	Volumétrico	-
•			

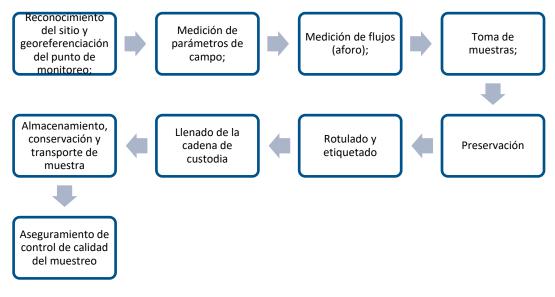


Punto	Caudal (L/s)	Método	Observación
S21C	-	No aforado	Afloramiento somero. No es posible aforar.
S21B	-	No aforado	Afloramiento disperso. No es posible aforar.
S21A	-	No aforado	Afloramiento somero. No es posible aforar.
S20A	0.40	Volumétrico	-
S20B	2.61	Volumétrico	-
S34A	1.75	Volumétrico	-
M37	2.83	Área - Velocidad	-
M4	-	No aforado	Laguna/reservorio
M5	-	No aforado	Laguna/reservorio

3.3 Muestreo para el análisis de laboratorio

El procedimiento de muestreo seguido durante el presente monitoreo ha sido acorde a lo indicado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. 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 3.4 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría

Categoría	1-A1	3 y 4	4	Subterr	Pasivos	Bk campo	Bk viajero
Aceites y Grasas	х	Х	х	X	Х		
Alcalinidad Total	х	Х	х	х	Х		
Amoniaco (NH3)		х	х				
Aniones por CI: Bromuro, Cloruros, Fluoruros, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Sulfatos	Х	х	X	Х	х	х	х
Cianuro Libre		Х	Х				
Cianuro Total	х				х		
Cianuro Wad		х		х			
Clorofila A			х				
Coliformes Fecales	х	Х	х	×			
Coliformes Totales	х						
Color Verdadero	х	Х	х	х	х		
Conductividad	х	х	х	х	х		
Cromo Hexavalente		х	х		х		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	х	х	х	х	x		
Demanda Química de Oxígeno	х	Х		х	Х		
Detergentes		Х					
Dureza Total	х						
Escherichia coli	х	х					
Fenoles	х	Х	х	х			
Fósforo Total	х	Х	х				
Huevos de Helmintos		х					
Metales disueltos	х	х	х	х	х	х	х
Metales totales	х	х	х	х	х	х	х
Microcistina LR	х						



Categoría	1-A1	3 y 4	4	Subterr	Pasivos	Bk campo	Bk viajero
Nitrógeno Amoniacal (NH3-N)	х				Х		
Nitrógeno Total			х				
Organismos de Vida Libre	х						
Formas parasitarias	х						
pH (Laboratorio)	х	х	х	х	х		
Sólidos Totales Disueltos	х	х	Х	Х	Х		
Sólidos Totales Suspendidos		х	х		х		
Sulfuros		х	Х				
Turbidez	х	Х	Х	Х			
Vibrio Cholerae	х						
Bacterias heterotróficas							х

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

3.4 Control de calidad

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

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

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

Tabla 3.5 Listado de muestras de control de calidad

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



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

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

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

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

3.5 Estándares y guías aplicadas

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

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural Nº 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 Nº 010-2010-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 21 de agosto del 2010.
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 07 de junio del 2017.

3.6 Laboratorio de análisis

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

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

Tabla 3.6 Informes de ensayo de laboratorio

Punto	Zona	Informe de ensayo
S23	Zona I	MA1929973
S24T	Zona I	MA1929973
P11	Zona I	MA1929981
M17	Zona I	MA1929982



Punto	Zona	Informe de ensayo
M21	Zona I	MA1929982
M1	Zona I	MA1930123
PIA-1	Zona I	MA1930123
М9В	Zona I	MA1930124
S22C	Zona I	MA1930375
S12	Zona I	MA1930375
S22	Zona I	MA1930375
M2	Zona I	MA1930374
S32A	Zona I	MA1930498
S30A	Zona I	MA1930498
M9C	Zona I	MA1930667
M21B	Zona I	MA1930669
M22	Zona I	MA1930800
S34	Zona I	MA1930800

En total se ha hecho entrega de 11 puntos Categoría 1-A1, 5 puntos Categoría 3 y 4, 1 puntos Categoría 4, 1 punto de agua subterránea. Adicionalmente se ha entregado 2 duplicados de campo (Categoría 4 y agua subterránea), y 3 puntos de control de calidad (2 blancos de campo y 1 blanco viajero).



4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para el año 2019 incluye la toma de muestra en 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 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo. Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fenoles, bromuros, nitritos, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 1-A1. La Tabla A.1 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

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

Punto	Unidades	# ocurrencias	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Parámetros de campo					
рН	Unidades pH	11	5.01	7.63	5
Conductividad	uS/cm	11	25.7	409.2	
Potencial de óxido reducción POR	mV	11	32.8	403.6	
Oxígeno Disuelto	mg/L	11	6.5	8.2	
Temperatura	°C	11	8.6	13.4	
Turbidez	NTU	11	0.1	2.37	
Caudal	(L/s)	8	0.11	10.25	
Materiales flotantes	-	0	0	0	
Parámetros Fisicoquímicos de labora	torio				
Color Verdadero	UC	4	1.4	27.4	1
Turbidez (Laboratorio)	NTU	11	0.3	5.7	1
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	10	2.3	188.1	
Bicarbonato (**)	mg CO3-2/L	10	nd	187.278	
Carbonato (**)	mg CO3-1/L	10	nd	0.800	
Dureza Total	mg CaCO3/L	11	2	203.3	
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	11	10.7	388	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	11	6	259	
pH (Laboratorio)*	рН	11	4.36	7.63	6
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	1	0.015	0.015	
Fósforo Total	mg P/L	11	0.01	0.11	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	3	6.6	9.3	
Aceites y Grasas	mg/L	0	nd	nd	
Cianuro Total	mg/L	0	nd	nd	
Fenoles	mg/L	0	nd	nd	



Punto	Unidades	# ocurrencias	Mínimo	Máximo	Excede ECA
Bromuro, Br-	mg/L	0	nd	nd	
Cloruros. Cl-	mg/L	9	0.061	1.414	
Fluoruros. F-	mg/L	7	0.006	0.101	
Nitritos, (como N)	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos, (como N)	mg/L	10	0.015	0.517	
Nitritos. NO2-	mg/L	0	nd	nd	
Nitratos. NO3-	mg/L	10	0.064	2.289	
Fosfatos	mg/L	0	nd	nd	
Sulfatos. SO4-2	mg/L	11	0.86	28.28	

nd = no detectado

Existe buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 25.7 y 409.2 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 10.7 y 388 µS/cm. El coeficiente de correlación entre ambos grupos es de 0.99. El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 5.01 a 7.63) y laboratorio (de 4.36 a 7.63).

El pH medido tanto en campo como en laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en los puntos M9B, S22, S32A, S30A y S34. Adicionalmente, el punto M9C registró un valor de 5.58 en laboratorio, inferior a su valor de campo (7.01). Los valores históricos de pH (laboratorio) en este punto de monitoreo varían entre 5.85 y 7.80 con predominancia de valores cercanos al neutro, por lo que se recomienda tomar como representativo el valor de campo (7.01). Los valores de turbidez de campo variaron de 0.1 a 2.37 NTU, mientras los valores de turbidez de laboratorio varían de 0.3 a 5.7 NTU, con el mayor valor (5.7 NTU) en el punto M9C, el cual excedió ligeramente el ECA para la categoría. El color verdadero excedió el ECA en S23. El fósforo total en S22 (0.11 mg/L) excedió ligeramente el ECA (0.1 mg/L).

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



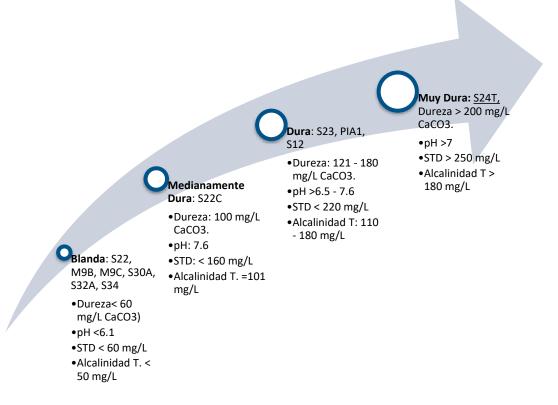
Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón promedio de 0.68. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 6 y 259 mg/L. La alcalinidad también presenta una relación directa con la conductividad eléctrica y fue en general 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 101.1 y 188.1 mg/L.

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 (S24T).

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



En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito se presentaron por debajo del límite de detección analítico del laboratorio en todos los puntos de la categoría 1-A1. Las concentraciones de nitratos (como NO₃) variaron de 0.064 a 2.289 mg NO₃-/L, sin presentar una tendencia espacial específica, aunque con mayor presencia porcentual en S32A y S34. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron en general bajas (0.015 mg/L) y solo fueron detectado en S12. Las concentraciones de sulfato varían entre 0.86 y 28.28 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 0.061 a 1.414 mg/L y fue detectado en todos los puntos salvo M9C, aunque su participación porcentual como anión fue mayor en los puntos S30A, S32A y S34. Los fluoruros fueron detectados solo 7 puntos



de monitoreo, en concentraciones inferiores a 0.10 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 0.507 a 89.476 mg/L. Le sigue en importancia sílice, silicio, magnesio, sodio y potasio. Solo el hierro total excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S30A y M9C.

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

		Me	tales Totale	s	Meta	les Disuelt	eltos	
Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	
Aluminio	mg/L	5	0.071	0.562	3	0.041	0.181	
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Arsénico	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Bario	mg/L	8	0.0022	0.0202	6	0.0027	0.0166	
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	0.00036	0.00036	1	0.00027	0.00027	
Calcio	mg/L	11	0.507	89.476	11	0.455	88.792	
Cerio	mg/L	1	0.00126	0.00126	0	nd	nd	
Cesio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Cobalto	mg/L	3	0.00027	0.00086	3	0.00026	0.00061	
Cobre	mg/L	6	0.00149	0.00433	3	0.00141	0.00201	
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Estroncio	mg/L	11	0.0023	0.151	11	0.0021	0.1316	
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	10	0.0033	0.7616	6	0.0078	0.1187	
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Litio	mg/L	1	0.0014	0.0014	1	0.0012	0.0012	
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Magnesio	mg/L	11	0.112	5.421	11	0.112	4.738	
Manganeso	mg/L	8	0.00096	0.02349	8	0.00075	0.01994	
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	
Molibdeno	mg/L	2	0.00018	0.00042	1	0.00033	0.00033	
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd	



		Metales Totales			Meta	les Disuelt	os
Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Níquel	mg/L	1	0.0013	0.0013	1	0.0009	0.0009
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	1	0.0062	0.0062	1	0.0019	0.0019
Potasio	mg/L	10	0.2	0.81	7	0.2	0.51
Rubidio	mg/L	4	0.0009	0.0036	1	0.0013	0.0013
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	11	3.74	22.34	11	3.41	22.16
Silicio	mg/L	11	1.75	10.44	11	1.59	10.36
Sodio	mg/L	11	0.079	3.338	11	0.072	2.951
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	0.01	1	0.0008	0.0008
Uranio	mg/L	1	0.000076	0.000076	0	nd	nd
Vanadio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	1	0.00007	0.00007	0	nd	nd
Zinc	mg/L	4	0.0028	0.0643	3	0.0103	0.0526
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 E. Coli, Vibrio Cholerae, formas parasitarias, Giardia duodenalis, larvas de helmintos, así como tampoco quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. Microsistina LR tampoco fue detectada.

Los coliformes totales fueron detectados en 9 de los puntos, mientras que los coliformes fecales o termotolerantes fueron detectados en 2 y en ningún caso se excedieron el ECA. Escherichia coli fue detectada en S23, excediendo el ECA para la categoría. Es importante mencionar que en el caso de S23, los coliformes totales fueron detectados en un valor muy cercano al ECA (49 NMP/100 mL), por lo que se recomienda proteger los tanques del ganado circundante y efectuar limpiezas periódicas. Los organismos de vida libre estuvieron presentes en 2 puntos de monitoreo (S30A y M9C), excediendo los ECA. En todos los casos estuvieron presentes en forma de algas. Las captaciones de S30A y M9C podrían requerir actividades de limpieza.



Figura 4.3 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
Análisis Microbiológicos					
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	9	2	49	
Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	2	2	6.8	
Numeración de Escherichia coli	NMP/100 mL	1	2	2	1
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	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios No Patógenos	Organismo/L	0	nd	nd	
Quistes y Ooquistes de Protozoarios Patógenos	Organismo/L	0	nd	nd	
Algas	Organismo/L	2	nd	8	2
Copépodos	Organismo/L	0	nd	nd	
Nematodos en todos sus Estadios Evolutivos	Organismo/L	0	nd	nd	
Organismos de Vida Libre	Organismo/L	2	nd	8	2
Protozoarios	Organismo/L	0	nd	nd	
Rotíferos	Organismo/L	0	nd	nd	
Microsistina LR		•			
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 para la temporada húmeda del 2019 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 para ríos y quebradas de la sierra. Como se puede observar, no se detectaron valores cromo hexavalente, sulfuro, DBO₅, SAAMS, aceites y grasas,



cianuro libre, fenoles, cianuro WAD, bromuros, nitritos, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 3.

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

Parámetros	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA	
Parámetros de campo						
рН	Unidades pH	5	4.8	8.04	3	
Conductividad	uS/cm	5	40.3	234.6		
Redox (POR)	mV	5	99.7	338.5		
Oxígeno disuelto	mg/L	5	6.4	8.3		
Temperatura	°C	5	9.5	12.5		
Turbidez	NTU	5	0.1	6.7		
Caudal	L/s	5	47.47	1321.6		
Fisicoquímicos de laboratorio		1			•	
Color Verdadero	UC	5	1.4	13.4		
Turbidez	NTU	5	1.2	4		
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	5	2.2	109.5		
Bicarbonato	-	5	2.2	105.9		
Conductividad	uS/cm	5	22.8	219.9		
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	15	153		
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	0	nd	nd		
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	0	nd	nd		
Potencial de Hidrógeno (pH)	рН	5	4.68	8.51	3	
Amoníaco	mg NH3/L	0	nd	nd		
Fósforo Total	mg P/L	5	0.01	0.034		
Sulfuro	mgS2-/l	0	nd	nd		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0	nd	nd		
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	3	5.3	8.6		
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	0	nd	nd		
Aceites y Grasas	mg/L	0	nd	nd		
Cianuro Libre	mg/L	0	nd	nd		
Fenoles	mg/L	0	nd	nd		
Cianuro WAD	mg/L	0	nd	nd		
Bromuro, Br-	mg/L	0	nd	nd		
Cloruros, Cl-	mg/L	3	0.086	0.683		
Fluoruros, F-	mg/L	5	0.006	0.044		
Nitritos, (como N)	mg/L	0	nd	nd		
Nitratos, (como N)	mg/L	5	0.014	0.085		
Nitritos NO2-	mg/L	0	nd	nd		
Nitratos NO3-	mg/L	5	0.062	0.374		
Fosfatos	mg/L	0	nd	nd		
Sulfatos, SO4-2	mg/L	5	3.68	24.92		
Nitratos + Nitritos (como N)	mg/L	5	0.014	0.085		

nd = no detectado



Los valores de pH registrados en campo variaron entre 4.8 y 8.04, mientras que los valores obtenidos en laboratorio variaron entre 4.68 y 8.51. Asimismo, los valores de conductividad registrados en campo varían entre 40.3 y 234.6 μ S/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 22.8 y 219.9 μ S/cm mostrando en ambos casos concordancia. Los puntos M1, M2 y M21B presentaron valores de pH campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1.

Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad, con una razón promedio de 0.66. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 15 y 153 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 muy baja (<10 mg/L) en puntos que presentaron un pH ácido (pH de 4.8 a 5.75) y alta en aquellos puntos que presentaron un pH alcalino (>7.25).

•pH > 7.25 •CE: 160-220 uS/cm •STD: 120 - 160 mg/L •Alcalinidad Total: 70-110 mg CaCO3/L

CE: <30 uS/cmSTD: <20 mg/LAlcalinidad Total: <10 mg CaCO3/L

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

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito, estos no fueron detectados en ningún punto de monitoreo. Las concentraciones de nitratos (como NO₃) variaron de 0.0062 a 0.374 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. El amoniaco no fue detectado. Las concentraciones de sulfato varían entre 3.68y 24.9 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 3 siendo el anión predominante en M1 y M2. Las concentraciones de cloruros varían de 0.086 a 0.683 mg/L y fue detectado solo en M17, M21 y M21B. Los fluoruros fueron detectados en todos los puntos de monitoreo, en concentraciones de 0.006 a 0.044 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 y sodio estuvieron presentes en todos los puntos de monitoreo. No se detectó la presencia de antimonio, berilio, bismuto, boro, cromo, estaño, fósforo, germanio, hafnio, lantano, lutecio, mercurio, niobio, plata, selenio, tantalio, teluro, thorio, vanadio, wolframio, yterbio, ni zirconio.

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

			tales Totale	S	Me	tales Disuel	tos
Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio	mg/L	5	0.132	0.385	2	0.055	0.093
Antimonio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Arsénico	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Bario	mg/L	5	0.0077	0.0125	5	0.0051	0.0107
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	0.33	55.261	5	0.325	54.039
Cerio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cesio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Cobalto	mg/L	4	0.00007	0.00144	3	0.00048	0.00113
Cobre	mg/L	5	0.00165	0.19762	5	0.00143	0.13162
Cromo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio	mg/L	5	0.0026	0.1398	5	0.0025	0.1318
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	5	0.1237	0.3899	5	0.0048	0.1228
Lantano	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Litio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Lutecio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio	mg/L	5	0.2	2.896	5	0.131	2.633
Manganeso	mg/L	5	0.00573	0.03466	5	0.00071	0.02312
Mercurio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno	mg/L	2	0.00019	0.00049	1	0.00024	0.00024
Niobio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel	mg/L	1	0.0011	0.0011	1	0.0011	0.0011
Plata	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Plomo	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Potasio	mg/L	5	0.31	0.63	4	0.25	0.46
Rubidio	mg/L	4	0.001	0.0016	1	0.0011	0.0011
Selenio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Sílice	mg/L	5	4.47	10.01	5	3.72	9.88
Silicio	mg/L	5	2.09	4.68	5	1.74	4.62
Sodio	mg/L	5	0.265	2.25	5	0.245	1.861
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		nd	nd		nd	nd
1110110	mg/L	0	nu	Hu	0	nu	HU



		Metales Totales			Met	ales Disuel	tos
Parámetro Unidad	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	
Titanio	mg/L	1	0.0013	0.0013	0	nd	nd
Uranio	mg/L	1	0.000098	0.000098	0	nd	nd
Vanadio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Wolframio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Yterbio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd
Zinc	mg/L	3	0.0069	0.0133	3	0.0062	0.0102
Zirconio	mg/L	0	nd	nd	0	nd	nd

nd: no detectado

El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.33 a 55.261 mg/L en su forma total. Le sigue en importancia la sílice, el silicio, magnesio, potasio, aluminio y sodio. Es notorio el incremento de las concentraciones de calcio y magnesio conforme las aguas discurren hacia aguas abajo.

El cobre total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en el punto M2, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3.

4.2.3 Microbiológicos y parasitológicos

La Tabla 4.6 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros microbiológicos y bacteriológicos en aguas Categoría 3. Los resultados mostrados en la tabla han sido comparados con los valores establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

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

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Numeración de Coliformes Fecales	NMP/100 mL	3	2	4.5	
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 3 puntos de monitoreo, 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 2019 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.



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

Parámetros	Unidad	M22
Parámetros de campo	•	
рН	рН	4.7
Conductividad	uS/cm	36.5
Potencial de óxido reducción	mV	206
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.5
Temperatura	°C	11.40
Turbidez	NTU	4.7
Clorofila A	mg/L	nd
Color Verdadero	UC	4.2
Turbidez	NTU	3
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	nd
Conductividad	uS/cm	24.2
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	15
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	nd
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	nd
Potencial de Hidrógeno (pH)	рН	4.1
Amoníaco	mg NH3/L	nd
Nitrógeno Total	mg N/L	0.36
Fósforo Total	mg P/L	nd
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	0.06
Fluoruro	mg/L	0.021
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	4.37

nd = no detectado;

Como se puede observar, no se detectaron valores de clorofila A, sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente total, amoniaco, sulfuro, DBO5, aceites y grasas, cianuro libre, fenoles, bromuro, nitritos, ni fosfatos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 4. El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M22.

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. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 36.5 y 280.6 μ S/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 24.2 y 258.9 μ S/cm.



Asimismo, las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad con una razón promedio de 0.64. Las concentraciones de sólidos totales disueltos variaron entre 15 y 166 mg/L. No se detectaron sólidos totales en suspensión.

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitratos y nitritos se presentaron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio. 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. La muestra obtenida de la laguna Mamacocha (M22) exhibe la presencia de diversos metales incluyendo: aluminio, arsénico, bario, calcio, cobalto, cobre, estroncio, hierro, magnesio, manganeso, níquel, potasio, sílice, silicio, sodio y zinc. Generalmente las concentraciones disueltas representan más de la mitad de la concentración total. En Ningún caso se excedieron los ECA para agua.

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

Parámetro	Metales Totales	Metales Disueltos
Aluminio	0.3	0.09
Antimonio	nd	nd
Arsénico	0.0052	nd
Bario	0.0041	0.0025
Berilio	nd	nd
Bismuto	nd	nd
Boro	nd	nd
Cadmio	nd	nd
Calcio	0.952	0.912
Cerio	nd	nd
Cesio	nd	nd
Cobalto	0.00055	0.00046
Cobre	0.00429	0.00148
Cromo	nd	nd
Estaño	nd	nd
Estroncio	0.006	0.0057
Fósforo	nd	nd
Galio	nd	nd
Germanio	nd	nd
Hafnio	nd	nd
Hierro	0.8511	0.0378
Lantano	nd	nd
Litio	nd	nd
Lutecio	nd	nd
Magnesio	0.335	0.327
Manganeso	0.01741	0.01532
Mercurio	nd	nd
Molibdeno	nd	nd
Niobio	nd	nd
Níquel	0.0007	nd



Parámetro	Metales Totales	Metales Disueltos
Plata	nd	nd
Plomo	nd	nd
Potasio	0.42	0.23
Rubidio	nd	nd
Selenio	nd	nd
Sílice	1.55	1.44
Silicio	0.73	0.67
Sodio	0.444	0.256
Talio	nd	nd
Tantalio	nd	nd
Teluro	nd	nd
Thorio	nd	nd
Titanio	nd	nd
Uranio	nd	nd
Vanadio	nd	nd
Wolframio	nd	nd
Yterbio	nd	nd
Zinc	0.016	0.0094
Zirconio	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.

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 (274 mg/L). La conductividad de la muestra fue de 425 µS/cm en laboratorio y 447.2 en campo. La relación STD/Conductividad observada en la muestra de agua subterránea es igual a 0.64, valor similar al observado en el caso de las aguas superficiales. El pH medido tanto en campo como en laboratorio fue ligeramente alcalino (7.54 y 7.61 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, hierro, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, rubidio, sílice, silicio y sodio. Calcio, estroncio, magnesio, 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 bario, boro y litio fueron encontrados en concentraciones superiores a 0.01 mg/L.

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.



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 han incluido fluoruros (F⁻) y nitratos (NO₃⁻²). Esto debido a que dichos iones han sido detectados en importante porcentaje con respecto al resto. En monitoreos anteriores se incluyó el aluminio en la lista de cationes, pero con fines de mantener el estándar aceptado académicamente, en este monitoreo dicho metal no ha sido considerado.

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

Punto	HCO₃⁻	CO ₃ -2	CI ⁻	F ⁻	SO ₄ -2	NO₃⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K+	Na⁺	Al ⁺³
S23	2.897	0.011	0.004	0.000	0.563	0.003	3.497	0.207	0.009	0.026	0.000
S24T	3.746	0.016	0.007	0.000	0.589	0.007	4.440	0.348	0.013	0.041	0.000
PIA-1	3.380	0.004	0.040	0.002	0.432	0.037	2.760	0.388	0.011	0.082	0.000
M9B	0.422	0.000	0.000	0.000	0.018	0.006	0.202	0.114	0.005	0.049	0.000
S12	2.681	0.001	0.019	0.005	0.345	0.023	1.597	0.337	0.009	0.102	0.000
S22C	2.014	0.008	0.013	0.000	0.164	0.006	1.316	0.136	0.000	0.036	0.000
S22	0.960	0.000	0.004	0.001	0.147	0.011	0.484	0.190	0.009	0.128	0.000
S32A	0.072	0.000	0.003	0.000	0.025	0.016	0.023	0.014	0.000	0.009	0.005
S30A	0.046	0.000	0.002	0.000	0.046	0.000	0.025	0.009	0.007	0.003	0.020
M9C	0.637	0.001	0.002	0.001	0.040	0.001	0.288	0.093	0.000	0.059	0.000
S34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.017	0.036	0.023	0.000	0.006	0.005
M17	1.526	0.004	0.006	0.001	0.261	0.002	1.905	0.192	0.000	0.039	0.006
M21	2.118	0.069	0.019	0.002	0.519	0.006	2.702	0.216	0.008	0.081	0.000
M1	0.200	0.000	0.000	0.000	0.107	0.001	0.204	0.050	0.006	0.012	0.000
M2	0.044	0.000	0.000	0.001	0.077	0.001	0.016	0.011	0.012	0.011	0.010
M21B	0.116	0.000	0.002	0.000	0.126	0.001	0.148	0.031	0.007	0.019	0.000
M22	0.000	0.000	0.002	0.001	0.091	0.000	0.046	0.027	0.006	0.011	0.010
P11	4.292	0.018	0.052	0.009	1.338	0.010	2.571	1.725	0.015	1.371	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 13 de las 18 muestras, variando desde el 52% hasta el 94% de la de la carga catiónica total (CCT) con un promedio de 76%. En todos los casos en los que el calcio representó más del 50% de la CCT, el segundo catión en importancia fue el magnesio. En los puntos S30A, S32A, M22 y P11 el catión predominante si bien fue el calcio, este no representó más del 50% de la CCT. En esos casos su presencia varió entre el 39% y el 46%, con un promedio del 44% de la CCT y el segundo catión en importancia fue principalmente el magnesio. En el caso del agua subterránea (P11) el segundo catión en importancia fue el magnesio seguido por el sodio.

De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 85% de la carga aniónica total (CAT) en 13 de 18 muestras de agua. En 4 puntos el anión predominante es el sulfato con un promedio de 67% de la CAT. En el punto S30, tanto el bicarbonato como el sulfato se presentan en la misma proporción



(49%). Vale resaltar que en el punto S34, si bien el anión predominante fue el sulfato, es notoria la presencia de nitrato, el cual llega a representar el 43% de la CAT.

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 lones principales y tipos de agua

Punto	рН	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
S23	7.56	145.40	307.0	222.0	Ca	HCO3	Tipo I
S24T	7.63	188.10	388.0	259.0	Ca	HCO3	Tipo I
PIA-1	7.05	169.20	298.4	211.0	Ca	HCO3	Tipo I
М9В	5.86	21.10	42.5	29.0	Ca	HCO3	Tipo I
S12	6.57	134.10	252.4	215.0	Ca	HCO3	Tipo I
S22C	7.60	101.10	195.4	146.0	Ca	HCO3	Tipo I
S22	6.06	48.00	100.5	62.0	Ca	HCO3	Tipo I
S32A	5.29	3.60	10.7	6.0	Ca-Mg	HCO3	Tipo II
S30A	4.82	2.30	21.2	15.0	Ca-Al	HCO3-SO4	Tipo V
M9C	7.01	31.90	58.9	33.0	Ca	HCO3	Tipo I
S34	4.36	0.00	16.6	10.0	Ca	SO4	Tipo III
M17	7.41	76.50	159.0	118.0	Ca	HCO3	Tipo I
M21	8.51	109.50	219.9	153.0	Ca	HCO3	Tipo I
M1	5.95	10.00	28.4	18.0	Ca	HCO3	Tipo I
M2	4.68	2.20	22.8	15.0	Ca-Na	SO4	Tipo IV
M21B	4.89	5.80	27.9	16.0	Ca	SO4	Tipo III
M22	4.14	0.00	24.2	15.0	Ca-Mg	SO4	Tipo IV
P11	7.61	215.50	425.0	274.0	Ca-Mg	HCO3	Tipo II

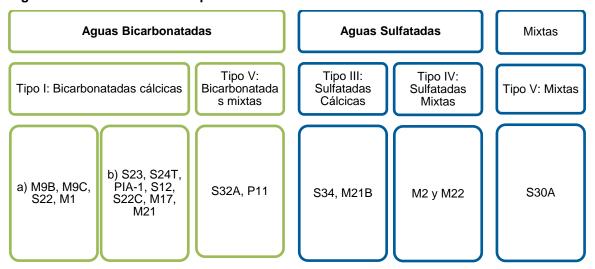
Con base en los contenidos observados de los iones principales en los puntos de monitoreo de aguas naturales, los tipos químicos de agua identificados en la zona son los siguientes:

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S23, S24T, PIA-1, S12, S22C, M17, M21. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (118 a 259 mg/L), una alcalinidad moderada (76 a 188 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.57 a 8.51). Asimismo, fue encontrada en los puntos M9B, M9C, S22, M1, pero con bajas concentraciones de STD (18 62 mg/L), baja alcalinidad (10 a 48 mg CACO3/L) y pH ligeramente ácido (5.86 7.01), En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo II: Aguas Bicarbonatadas Mixtas. La muestra S32A y la muestra de agua subterránea han sido clasificadas como parte de este grupo ya que, si bien el catión predominante es el calcio, no llega a representar el 50% de la CCT. En ambos casos el segundo catión en importancia es el magnesio;
- Tipo III: Sulfatadas Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34, M21B. Está
 caracterizada por presentar una baja concentración de STD (<16 mg/L), una alcalinidad muy baja (<6 mg
 CACO3/L) y un pH ácido (4.36 a 4.89) En estas aguas el catión predominante es el calcio y el anión
 predominante es el sulfato.



- Tipo IV: Sulfatadas Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M2 y M22. Es de características similares a las aguas Tipo III pero en donde el catión no está claramente definido o es un catión que no es usualmente estándar como el aluminio. Así en M2 el calcio se presenta como el 27% de la CCT y es seguido del sodio y magnesio (con 18% cada uno), mientras que el aluminio representa el 17%. En M22 el calcio representa el 45% de la CCT y es seguido del magnesio con 30% de la CCT. Estas aguas están caracterizadas por presentar una baja concentración de STD (<30 mg/L), una alcalinidad muy baja y un pH ácido (3.73 a 5.14).
- Tipo V: Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S30A. ningún anión y ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total.

Figura 4.5 Clasificación hidroquímica

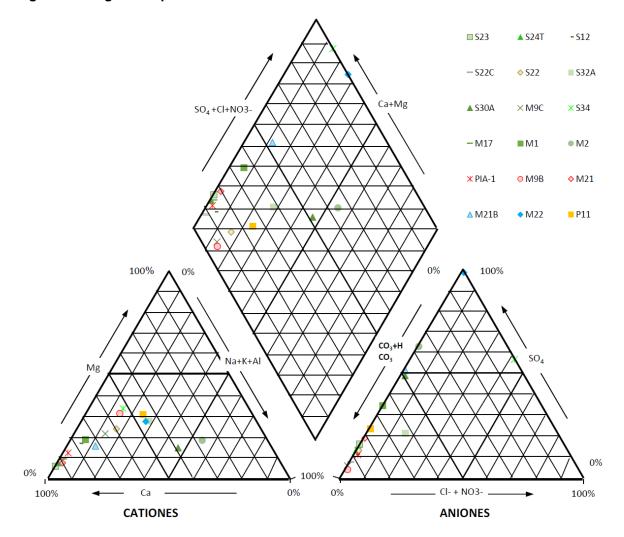


La distribución de los tipos de agua mencionados líneas arriba es presentada en el Mapa 4.1. Las aguas Tipo I (a) se encontraron en las áreas más alejadas de la zona del proyecto, mientras que las Tipo I b se localizan en zonas intermedias. Puede notarse que en general las muestras Tipo II a V tienen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

Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.6) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). En el campo triangular izquierdo se grafica el porcentaje de los valores de los tres grupos de cationes (Ca2+, Mg2+, Na+, K+). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO3-, CO3 -2 SO4-2 y Cl-). El diamante central es usado para mostrar todo el carácter químico del agua como un tercer punto.



Figura 4.6 Diagrama Piper





5 Resultados en puntos con registro de solo parámetros de campo

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

De los 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 y S8, todos los puntos del proyecto PIASSA presentaron un pH alcalino (alrededor de 7). El pH en ambos puntos excedió los ECA correspondientes. El pH en las captaciones de agua para consumo doméstico de Sogorón Alto (S30B, S30C y S30D) y El Pedregal (S34B) fue ácido y excedió el ECA correspondiente. La conductividad varió entre 13.2 y 532.3 µS/cm y la temperatura de 8.4 a 16 °C. El oxígeno disuelto se presentó por debajo del límite inferior de los ECA en S7. Los caudales fueron medidos en todos los puntos mediante el método volumétrico. El manantial S7 (Uñigán) presentó el mayor flujo en la zona, registrando 4.73 L/s.

Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 1-A1

Punto	Fecha	Hora	рН	CE (μS/cm)	TDS (mg/L)	POR (mV)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
ECA Cat	tegoría 1-A1		6.5 – 8.5	1500	1000	-	≥ 6	-	5	-
S1	25/11/2019	10:00:00	7.7	412.6	269.0	62	6.3	10.3	1.33	2.18
S7	25/11/2019	10:45:00	7.6	479.8	311.0	101	5.8	11.2	0.1	4.73
S8	25/11/2019	11:05:00	5.9	484.6	315.0	72.9	6.9	11.5	0.1	1.85
S 5	25/11/2019	11:20:00	7.9	532.3	346.0	92.4	6.6	11.1	0.1	0.21
S4	25/11/2019	11:28:00	7.9	218.3	141.0	59.2	6.2	10.5	0	0.35
S3	25/11/2019	11:44:00	5.8	61.6	43.0	135	6.7	16.0	0.1	1.53
S2	25/11/2019	12:09:00	7.8	162.0	105.0	109.3	6.3	11.1	0.7	1.58
S30D	28/11/2019	08:48:00	5.5	13.2	9.0	273.5	7.7	8.4	0.1	1.62
S30C	28/11/2019	09:26:00	5.3	30.3	19.0	236.2	6.8	9.0	0.1	2.34
S30B	28/11/2019	10:12:00	5.7	41.3	28.0	256.9	6.2	10.7	0.5	1.20
S34B	28/11/2019	11:30:00	5.4	17.3	11.0	327.9	6.9	11.9	0.1	3.33

5.2 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los puntos establecidos para el registro de solo parámetros de campo, nueve (9) tienen como uso actual el riego de vegetales y consumo de animales y por tanto corresponden a aguas Categoría 3. 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	рН	CE (μS/cm)	TDS (mg/L)	POR (mV)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
	Categoría 3-D	1	6.5 – 8.5	2500	-	-	4	-	-	-
ECA	Categoría 3-D	2	6.5 - 8.4	5000	-	-	5	-	-	-
	Categoría 4-E	1	6.5 - 9.0	1000	-	-	≥5	-	-	-
M37	27/11/2019	12:07:00	5.0	42.0	30.0	409.9	8.0	9.0	3.65	2.83
S34A	28/11/2019	12:40:00	5.7	27.7	18.0	327.1	6.9	10.5	0.1	1.75
S21E	29/11/2019	10:23:00	5.9	57.4	38.0	155.4	6.2	13.7	0.85	1.98
S21D	29/11/2019	10:42:00	7.1	39.3	26.0	204.1	5.6	10.0	0.1	0.63
S21C	29/11/2019	10:57:00	6.5	45.3	30.0	222.3	7.2	12.0	0.1	-
S21B	29/11/2019	11:19:00	7.0	364.7	237.0	188.4	5.8	11.6	0.75	0.42
S21A	29/11/2019	11:47:00	7.8	389.2	259.0	145.5	6.9	12.9	0.26	-
S20A	29/11/2019	13:11:00	7.8	459.4	298.0	121.3	6.7	12.8	1.32	0.40
S20B	29/11/2019	13:42:00	7.5	499.3	324.0	133.1	4.8	13.4	0.1	2.61
M4	24/11/2019	11:05:00	4.2	13.9	8.0	160.8	6.6	10.3	0.1	-
M5	24/11/2019	11:46:00	4.1	17.6	10.0	179.1	6.6	11.4	0.1	-

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 neutro (4.1 a 7.0). Los valores más ácidos se presentaron en las lagunas Cama de los Shingos (M4) y Kerosene (M5) excediendo los ECA para la categoría 4. De manera similar los valores de pH en los puntos M37, S34A y S21E excedieron los ECA para la Categoría 3.

La conductividad eléctrica varió entre 13.9 y 499.3 uS/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 10.0 y 13.7 °C. El oxígeno disuelto excedió los ECA para la Categoría en 3-D2 en S20B.

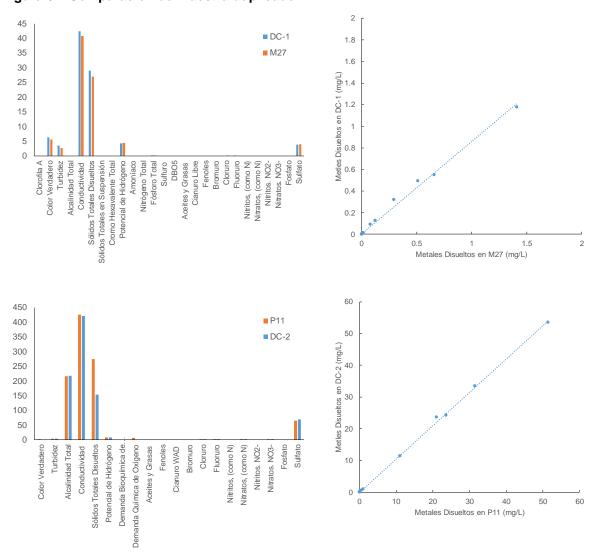


6 Control de calidad

6.1 Duplicado de muestra

Los resultados del análisis fisicoquímico de los duplicados de las muestras de agua superficial (DC-1 duplicado de M29) y agua subterránea (DC-2 duplicado de P11) son presentados en las tablas A.6, A.7 y Figura 6.1.

Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado



a. Parámetros físico-químicos

b. Metales

De los resultados obtenidos se observa que ambas muestras presentan valores similares con lo que se verifica la calidad de la precisión y análisis de laboratorio.



6.2 Blancos

6.2.1 Blanco de campo

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

Los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a esta muestra son presentados en las tablas A.8. Como se puede observar los parámetros analizados han sido reportados como no detectados, excepto el calcio, sílice, silicio y sodio total y disuelto en el blanco de campo 2. Estos metales son los más abundantes y el valor detectado representaría un error marginal de precisión en el proceso analítico mas no una contaminación durante el transporte, almacenamiento o análisis de laboratorio, lo cual valida la confiabilidad del proceso.

6.2.2 Blanco viajero

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

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

6.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio

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

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

6.3.1 Balance iónico

El balance iónico fue efectuado considerando como cationes principales: Calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), potasio (K^+), sodio (Na^+), aluminio (AI^{+3}) e hidronio (H^+); y como aniones principales: Bicarbonato (HNO_3^-), carbonato (CO_3^{-2}), cloruros (CI^-), 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

Durata	∑ aniones	∑ cationes	∑cat - ∑anio	DPR
Punto	meq/L	meq/L	meq/L	%
S23	3.47816	3.7391	0.2609	3.6%
S24T	4.36485	4.8416	0.4768	5.2%
PIA-1	3.89458	3.2413	-0.6533	-9.2%
M9B	0.44619	0.3718	-0.0744	-9.1%
S12	3.07447	2.0453	-1.0292	-20.1%
S22C	2.20511	1.4881	-0.7170	-19.4%
S22	1.12297	0.8122	-0.3108	-16.1%
S32A	0.11566	0.0563	-0.0594	-34.6%
S30A	0.09457	0.0791	-0.0155	-8.9%
M9C	0.68129	0.4404	-0.2409	-21.5%
S34	0.03965	0.1120	0.0724	47.7%
M17	1.79975	2.1427	0.3429	8.7%
M21	2.73620	3.0069	0.2707	4.7%
M1	0.30816	0.2742	-0.0339	-5.8%
M2	0.12295	0.0806	-0.0423	-20.8%
M21B	0.24586	0.2171	-0.0288	-6.2%
M22	0.09374	0.1719	0.0781	29.4%
P11	5.71854	5.6817	-0.0369	-0.3%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de S12, S22C, S22, M9C y M38, todos los puntos cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS o por la APHA. Si bien esto no invalida los resultados, es importante que en lo sucesivo el laboratorio de análisis presente su propio



balance iónico, elaborado siguiendo estándares (por ejemplo, efectuado en miliequivalentes). Esto permitirá revisar la sensibilidad de los equipos de laboratorio ante concentraciones bajas, como las que se presentan en la zona de estudio. Como un control adicional se ha verificado que los resultados se encuentren dentro del rango histórico reportado en los últimos 10 años.

6.3.2 Revisión cruzada de parámetros

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

Se verificó que existe una buena relación entre las mediciones de conductividad eléctrica efectuadas en campo, con sus correspondientes análisis de laboratorio. La relación STD/Conductividad observada en las muestras tiene un promedio de 0.64. Los valores de conductividad registrados en campo son similares a los obtenidos tras el análisis de laboratorio.

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



7 Conclusiones y recomendaciones

Las aguas naturales presentes en la Zona I son en general de buena calidad con baja a moderada concentración de sólidos totales disueltos (6 - 274 mg/L). Los valores de conductividad, dureza, y alcalinidad varían directamente con el incremento de STD. Aguas con bajo valor de STD en el área mineralizada son influenciadas por la oxidación natural de minerales sulfuro, los cuales en gran proporción son el resultado del sulfato y bajos valores de pH. Bajas concentraciones de metales totales y disueltos se presentan en la mayoría de las muestras evaluadas.

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

Aguas Categoría 1-A1:

- El pH medido tanto en campo como en laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en los puntos M9B, S22, S32A, S30A y S34. Adicionalmente, el punto M9C registró un valor de 5.58 en laboratorio, inferior a su valor de campo (7.01). Los valores históricos de pH (laboratorio) en este punto de monitoreo varían entre 5.85 y 7.80 con predominancia de valores cercanos al neutro, por lo que se recomienda tomar como representativo el valor de campo (7.01).
- Los valores de turbidez de campo variaron de 0.1 a 2.37 NTU, mientras los valores de turbidez de laboratorio varían de 0.3 a 5.7 NTU, con el mayor valor (5.7 NTU) en el punto M9C, el cual excedió ligeramente el ECA para la categoría. El color verdadero excedió el ECA en S23. El fósforo total en S22 (0.11 mg/L) excedió ligeramente el ECA (0.1 mg/L).
- Solo el hierro total excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S30A y M9C.
- Los coliformes totales fueron detectados en 9 de los puntos, mientras que los coliformes fecales o
 termotolerantes fueron detectados en 2 y en ningún caso se excedieron el ECA. Escherichia coli fue
 detectada en S23, excediendo el ECA para la categoría. Es importante mencionar que en el caso de S23,
 los coliformes totales fueron detectados en un valor muy cercano al ECA (49 NMP/100 mL), por lo que
 se recomienda proteger los tanques del ganado circundante y efectuar limpiezas periódicas.
- Los organismos de vida libre estuvieron presentes en 2 puntos de monitoreo (S30A y M9C), excediendo los ECA. En todos los casos estuvieron presentes en forma de algas. Estas captaciones (S30A y M9C) podrían requerir actividades de limpieza.

Aguas Categoría 3:

- Los puntos M1, M2 y M21B presentaron valores de pH campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1.
- El cobre total y disuelto excedió los ECA para la Categoría 4-E2 en el punto M2, pero sin exceder los ECA para la Categoría 3.
- Los coliformes fecales fueron detectados en 3 puntos de monitoreo, 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 E. Coli, ni huevos de helmintos

Aguas Categoría 4:

El pH tanto de campo como de laboratorio presentó valores inferiores al valor mínimo del ECA en M22.
 Este punto se encuentra inmediatamente alrededor del área mineralizada, por lo que los valores naturales de pH serían consecuencia de la geología de la zona.

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 de esta naturaleza.



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

- Aguas Categoría 1-A1: Con excepción de S3 y S8, todos los puntos del proyecto PIASSA presentaron un pH alcalino (alrededor de 7). El pH en ambos puntos excedió los ECA correspondientes. El pH en las captaciones de agua para consumo doméstico de Sogorón Alto (S30B, S30C y S30D) y El Pedregal (S34B) fue ácido y excedió el ECA correspondiente. La conductividad varió entre 13.2 y 532.3 µS/cm y la temperatura de 8.4 a 16 °C. El oxígeno disuelto se presentó por debajo del límite inferior de los ECA en S7.
- El pH de los puntos evaluados varió de ácido a neutro (4.1 a 7.0). Los valores más ácidos se presentaron en las lagunas Cama de los Shingos (M4) y Kerosene (M5) excediendo los ECA para la categoría 4. De manera similar los valores de pH en los puntos M37, S34A y S21E excedieron los ECA para la Categoría 3. La conductividad eléctrica varió entre 13.9 y 499.3 uS/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 10.0 y 13.7 °C. El oxígeno disuelto excedió los ECA para la Categoría en 3-D2 en S20B.

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

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S23, S24T, PIA-1, S12, S22C, M17, M21. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (118 a 259 mg/L), una alcalinidad moderada (76 a 188 mg CACO3/L) y un pH circum neutral a alcalino (6.57 a 8.51). Asimismo, fue encontrada en los puntos M9B, M9C, S22, M1, pero con bajas concentraciones de STD (18 62 mg/L), baja alcalinidad (10 a 48 mg CACO3/L) y pH ligeramente ácido (5.86 7.01), En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante el calcio.
- Tipo II: Aguas Bicarbonatadas Mixtas. La muestra S32A y la muestra de agua subterránea han sido clasificadas como parte de este grupo ya que, si bien el catión predominante es el calcio, no llega a representar el 50% de la CCT. En ambos casos el segundo catión en importancia es el magnesio;
- Tipo III: Sulfatadas Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34, M21B. Está
 caracterizada por presentar una baja concentración de STD (<16 mg/L), una alcalinidad muy baja (<6 mg
 CACO3/L) y un pH ácido (4.36 a 4.89) En estas aguas el catión predominante es el calcio y el anión
 predominante es el sulfato.
- Tipo IV: Sulfatadas Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra M2 y M22. Es de características similares a las aguas Tipo III pero en donde el catión no está claramente definido o es un catión que no es usualmente estándar como el aluminio. Así en M2 el calcio se presenta como el 27% de la CCT y es seguido del sodio y magnesio (con 18% cada uno), mientras que el aluminio representa el 17%. En M22 el calcio representa el 45% de la CCT y es seguido del magnesio con 30% de la CCT. Estas aguas están caracterizadas por presentar una baja concentración de STD (<30 mg/L), una alcalinidad muy baja y un pH ácido (3.73 a 5.14).
- Tipo V: Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S30A. ningún anión y ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total.

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

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



8 Referencias

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

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

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

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

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

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