PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA HUMEDA 2021

INFORME ZONA I

Revisión 0

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. ALICIA ROMERO

Especialista Ambiental Senior

CIP 44433

LIMA, MARZO 2022

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 5
1.1 Introducción 5
1.2 Participación de la población local 5
2 METODOLOGÍA 7
2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo 7
2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra 7
2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo 8
2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales 9
2.3 Recolección de datos de campo 15
2.3.1 Toma de muestras 15
2.3.2 Medición de caudales 15
2.4 Análisis de laboratorio 16
2.5 Criterios para el análisis de resultados 16
2.6 Control de calidad 16
3 MEDICIÓN DE CAUDALES 18
4 RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA 20
4.1 Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1 20
4.1.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 20
4.1.2 Parámetros fisicoquímicos 21
4.1.3 Metales de interés ambiental 23
4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 25
4.2 Aguas superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E2 26
4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 26
4.2.2 Parámetros fisicoquímicos 27
4.2.3 Metales de interés ambiental 29
4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 32
4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1 33
4.3.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 33
4.3.2 Parámetros fisicoquímicos 33
4.3.3 Metales de interés ambiental 34
4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 36
4.4 Agua Subterránea 36
4.5 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona I 36
4.6 Evaluación Hidroquímica 37
5 RESULTADOS EN PUNTOS CON SOLO REGISTRO DE PARÁMETROS DE CAMPO 41
5.1 Aguas relacionadas a la Categoría 1-A1 del ECA 42
5.2 Aguas relacionadas a la Categoría 3 del ECA 42
5.3 Aguas relacionadas a la Categoría 4 del ECA 42

6 RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD 43
6.1 Blanco viajero y blanco de campo 43
6.2 Balance de cargas 43
6.3 Análisis de duplicados 44
6.4 Comparación entre metales totales y disueltos 45
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
8 REFERENCIAS 49

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona I 7
Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona I 8
Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría 9
Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial 11
Tabla 3-1 Caudales registrados en campo 18
Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 1-A1 20
Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1 21
Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1 23
Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4 27
Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4 27
Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4 30
Tabla 4-7 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 4-E1 33
Tabla 4-8 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4-E1 33
Tabla 4-9 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 4-E1 34
Tabla 4-10 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial 36
Tabla 4-11 Concentración de Iones Principales en la Zona I 37
Tabla 4-12 Resumen de Tipos de Agua en la Zona I del Proyecto 39
Tabla 5-1 Resultados *in-situ* en los puntos de muestreo con solo registro de parámetros de campo 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo 15
Figura 4-1 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 1-A1 22
Figura 4-2 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 1-A1 22

Figura 4-3 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 3 29
Figura 4-4 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 3 29
Figura 4-5 Distribución de la carga catiónica total en las estaciones de la Zona I 38
Figura 4-6 Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona I 39
Figura 4-7 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona I 40
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona I 44
Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados 45
Figura 6-3 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos 45

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
Anexo I Certificados de calibración

1 Introducción

1.1 Introducción

Políticamente, el proyecto El Galeno, se encuentra ubicado en el noreste del Perú, entre los distritos de Sorochuco (provincia de Celendín) y La Encañada (provincia de Cajamarca), en el departamento de Cajamarca, localizado aproximadamente a 30 km al NE de la ciudad de Cajamarca. El Mapa 1.1 muestra la ubicación del proyecto, así como la red hidrográfica de la zona de estudio.

Hidrográficamente, el área de estudio comprende una zona de la microcuenca del Río Grande, una zona de la microcuenca de la quebrada Chanche, y una zona de la microcuenca de la quebrada Chirimayo.

El presente informe muestra los resultados de la campaña de monitoreo semestral de calidad de aguas en la Zona I (Microcuenca Río Grande) del Proyecto El Galeno. Los monitoreos efectuados corresponden a la temporada húmeda 2021, y fueron desarrollados en dos fases, la primera fase entre el 17 y 19 de noviembre y la segunda fase entre el 29 de noviembre y el 03 de diciembre del 2021. 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, y corresponden agua subterránea, 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:

- En los puntos de monitoreo de Sorgón Alto, el viernes 19 de noviembre, participó el señor William Huamán Soto, presidente de la JASS del caserío de El Pedregal.
- En los puntos de monitoreo de Yerba Buena Alta, el jueves 02 de diciembre participó el señor Nolberto Huanipata Guevara, presidente JASS de Yerba Buena Alta.
- En el punto de monitoreo S12 en Guagayoc, el día 02 de diciembre participó el señor Teófilo Aguilar, presidente JASS de Guagayoc.
- En los puntos de monitoreo de Chamcas, el jueves 02 de diciembre participó el señor Melquiades Ayala Gonzales, presidente JASS de Chamcas.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Anunciación Huamán Chávez - Caserío El Valle, quien participó en el monitoreo de agua el día 29 de noviembre y 03 de diciembre.

- Edwin Chávez Juárez, quien participó en el monitoreo de agua el día 30 de noviembre, 02 y 03 de diciembre

- Carmen Salazar Tacilla, quien participó en el monitoreo de agua el día 30 de noviembre.

- Olger Tacilla Alvarado- Caserío El Porvenir, quien participó en el monitoreo de agua los días 17, 19, 29 de noviembre y 02 de diciembre

- Manuel Salazar Llanos - Caserío Sorgón Alto, quien participó en el monitoreo de agua los días 19 de noviembre

En el Anexo C se presentan las actas de participación ciudadana debidamente firmadas por los asistentes.

2 Metodología

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Como parte de la campaña de monitoreo, en la Zona I, se cuentan con 43 puntos de evaluación. De los cuales, en diecinueve (19) puntos, se miden parámetros de campo y adicionalmente se colectan muestras para ser analizadas en laboratorio; mientras que, en los veinticuatro (24) puntos restantes, únicamente se registran parámetros de campo.

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

En la Tabla 2-1 se presenta la ubicación y descripción de los diecinueve (19) puntos en donde se recolectaron muestras para ser enviadas y analizadas en el laboratorio; asimismo, en estos lugares se efectuaron los registros de los parámetros de campo correspondientes. Por otro lado, en el Anexo D, se presenta las fichas de identificación de los puntos de monitoreo en mención.

Tabla 2-1 Puntos de monitoreo de calidad de agua con muestras enviadas al laboratorio - Zona I

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona UTM 17S		Altitud	Descripción	Categoría ECA	Efectuado
	Norte	Este				
M9B	9 225 738	794 068	3 735	Tanque #1 ACD Chamcas	1-A1	Si
M9C	9 225 358	794 630	3 790	Tanque #2 ACD Chamcas	1-A1	Si
M9D*	9 225 906	795 579	3 707	Tanque #3 ACD Chamcas	1-A1	Si
PIA1	9 225 583	793 377	3 554	Caja de reunión del Proyecto PIASAA	1-A1	Si
S12	9 227 024	793 481	3 930	Guagayoc, tanque de ACD	1-A1	Si(1)
S22	9 227 677	792 958	3 833	ACD en la escuela de YB Alta	1-A1	Si
S22C	9 227 478	793 192	3 936	Nuevo tanque ACD YB Alta	1-A1	Si
S23	9 228 701	791 362	3 864	ACD en El Porvenir de YB	1-A1	Si(1)
S24T	9 227 904	792 009	3 770	Nuevo tanque de ACD de San Juan YB	1-A1	Si
S30A	9 221 146	792 294	3 609	Tanque de ACD de Sogorón Alto	1-A1	No(2)
S32A	9 223 170	794 470	3 647	Tanque de ACD en Rodacocha	1-A1	Si(1)
S34	9 223 866	792 982	3 565	Tanque de ACD en El Pedregal	1-A1	Si(1)
M1	9 225 861	793 714	3 596	Qda. Chamcas	3 y 4	Si
M17	9 226 450	790 736	3 512	Qda. Hierbabuena	3 y 4	Si
M2	9 226 800	794 581	3 768	Qda. Kerosene	3 y 4	Si
M21	9 222 394	791 571	3 257	Río Grande	3 y 4	Si
M21B	9 223 606	793 585	3 418	Qda. Yanacocha	3 y 4	Si
M22	9 226 652	796 527	3 756	Laguna Mamacocha	4-E1	Si(3)
P11	9 227 158	791 992	3 645	Piezómetro artesiano	A. Sub.	Si

Notas:
ACD = agua para consumo doméstico; A. Sub. = Agua subterránea; YB = Yerba Buena.
* Nueva estación de monitoreo.
(1) Solo se efectuó el muestreo de calidad aguas, no se puedo realizar la medición de caudales porque el reservorio se encontraba cerrado.
(2) No fue posible acceder por ausencia de la autoridad de Sorgón Alto, razón por la cual no se realizó el monitoreo programado.
(3) Corresponde a laguna, por tanto, no se mide caudal.

2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

En la Tabla 2-2 se presenta la ubicación y descripción de los veinticuatro (24) puntos donde se efectuaron los registros de los parámetros de campo de calidad de agua.

Tabla 2-2 Puntos de monitoreo con solo registros de parámetros de campo - Zona I

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona UTM 17S		Altitud	Descripción	Categoría ECA	Efectuado
	Norte	Este				
S1	9 225 445	793 911	3 661	Manantial El Ojo del Peje (PIASAA)	1-A1	Si
S2	9 225 816	793 663	3 594	Manantial Puente Viejo (PIASAA)	1-A1	Si
S3	9 225 755	793 657	3 599	Manantial El Moro (PIASAA)	1-A1	Si
S4	9 225 701	793 545	3 593	Manantial La Peña Mala (PIASAA)	1-A1	Si
S5	9 225 714	793 472	3 593	Manantial La Chilca (PIASAA)	1-A1	Si
S6	9 225 615	793 387	3 558	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	1-A1	No(1)
S7	9 225 602	793 380	3 556	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	1-A1	Si
S8	9 226 125	793 414	3 692	Manantial El Derrumbe (PIASAA)	1-A1	Si
S9	9 225 693	793 470	3 586	Manantial sin nombre (Manantial Nuevo)	1-A1	Si
S20A	9 224 765	793 125	3 518	Manantial en terreno Sra. M. Chávez	3	Si
S20B	9 224 885	793 351	3 550	Manantial en terreno Sr. Genaro Ocas	3	Si(2)
S21A	9 224 627	794 318	3 627	Manantial en terreno Sr. Elías Palacio	3	Si
S21B	9 224 647	794 441	3 575	Manantial en terreno Sra. M. Lucano	3	Si
S21C	9 224 686	794 635	3 598	Manantial en terreno Sr. Emeregildo,	3	Si
S21D	9 224 761	794 645	3 626	Manantial en terreno Sr. Emeregildo,	3	Si(2)
S21E	9 224 768	794 768	3 633	Manantial en terreno Sr. A. Cabrera	3	Si
S30B	9 225 343	796 489	3 858	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	Si
S30C	9 225 116	796 496	3 818	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	No(3)
S30D	9 225 063	796 373	3 783	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	No(1)
S34A	9 224 771	795 311	3 693	Capt. agua para riego El Pedregal	3	Si
S34B	9 224 496	794 865	3 641	Captación de ACD El Pedregal	1-A1	Si
M37	9 227 270	794 005	3 913	Bofedal Pajablanca	3	Si
M4	9 228 060	795 021	3 968	Laguna Cama de los Shingos	4-E1	Si
M5	9 227 329	795 644	3 891	Laguna Kerosene	4-E1	Si

Notas:
ACD = agua para consumo doméstico
(1) No se realizó la medición porque se encontraban sin flujo.
(2) No se efectuó la medición de caudales debido a que estos tenían un flujo mínimo; solo se registraron parámetros de campo.
(3) No fue posible realizar el muestreo debido a que no se contó con la llave de la captación

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales

La definición de los parámetros de monitoreo de la calidad de agua superficial se ha efectuado teniendo en consideración los lineamientos establecidos por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).

La selección de los parámetros para la caracterización y evaluación de la calidad de agua se realizó tomando en consideración los diferentes usos de agua de los puntos de monitoreo, de acuerdo con lo indicado en Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y en el último IGA aprobado para el Proyecto El Galeno.

- Categoría 1-A1: aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Se utiliza de manera referencial para el estudio de fuentes de agua para consumo.

- Categoría 3-D1 y 3-D2: aguas destinadas para riego de vegetales y bebida de animales. Se utiliza de manera referencial para el estudio de fuentes de agua para el aprovechamiento de riego y bebida de animales, así como para comparar referencialmente las fuentes de agua de origen subterráneo.

- Categoría 4-E1 y 4-E2: Conservación del ambiente acuático. Se utiliza para el análisis de la calidad de los cuerpos de agua lénticos y lóticos. (4-E1: Lagos y lagunas, 4-E2: Ríos).

Los parámetros de evaluación de cada punto de muestreo según su categoría se presentan en la Tabla 2-3, mientras que, los ECA de referencia aplicables se muestran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría

Parámetro	Tipo de muestra analizada				
	ECA Categoría 1-A1	ECA Categoría 3 y 4	ECA Categoría 4	Agua Subterránea	Muestras de Blanco
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				

Parámetro	Tipo de muestra analizada				
	ECA Categoría 1-A1	ECA Categoría 3 y 4	ECA Categoría 4	Agua Subterránea	Muestras de Blanco
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				
Huevos de Helmintos		X			
Organismos de Vida Libre	X				

Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial

Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)				
		Cat. 1-A1	Cat. 3		Cat. 4	
		Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección	D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de Animales	E1: Lagos y Lagunas	E2: Ríos
In-situ						
pH	pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.4	6.5-9.0	6.5-9.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 6	≥ 4	≥ 5	≥ 5	≥ 5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1 500	2 500	5 000	1 000	1 000
Turbidez	UNT	5	-	-	-	-
Temperatura	ºC	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
Caudal	L/s	-	-	-	-	-
Físico y Químicos						
pH (Laboratorio)	Ph	-	-	-	-	-
C.E. (Laboratorio)	µS/cm	-	-	-	-	-
Dureza Total	mg $CaCO_3$/L	500	-	-	-	-
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	-	-	-	-	-
STD	mg/L	1 000	-	-	-	-
SST	mg/L	-	-	-	25	100
DBO	mg/L	3	15	15	5	10
DQO	mg/L	10	40	40	-	-
Aceites y grasas	mg/L	0.5	5	10	5	5
Color Verdadero	Escala Pt/Co	15	100	100	20	20
Clorofila A	mg/L	-	-	-	0.008	-

Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)				
		Cat. 1-A1	Cat. 3		Cat. 4	
		Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección	D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de Animales	E1: Lagos y Lagunas	E2: Ríos
Sulfato	mg/L	250	1 000	1 000	-	-
Bromuro	mg/L	-	-	-	-	-
Cloruro	mg/L	250	500	-	-	
Fluoruro	mg/L	1.5	1			
Sulfuro	mg/L	-	-	-	0.002	0.002
Nitrato	mg N/L	50	-	-	13	13
Nitrógeno Amoniacal	mg N/L		-	-	0.02	
Amoniaco	mg N/L	1.5	-	-	-	-
Nitrito	mg N/L	3	10	10	-	-
Nitrógeno Total	mg/L	-	-	-	0.315	-
Fósforo Total	mg/L	0.1	-	-	0.035	0.05
Cianuro Total	mg/L	0.07	-	-		-
Cianuro WAD	mg/L	-	0.1	0.1		-
Microbiológicos						
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	20	1 000	2 000	1 000	2 000
Coliformes Totales	NMP/100 mL	50	-	-	-	-
Enterococos Fecales	NMP/100 mL	-	-	-	-	-
Formas parasitarias	Organismo/ Litro	0	-	-	-	-
Giardia duodenalis	Organismo/ Litro	-	-	-	-	-
Vibrio Cholerae	Presencia/ 100 mL	Ausencia	-	-	-	-

Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)				
		Cat. 1-A1	Cat. 3		Cat. 4	
		Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección	D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de Animales	E1: Lagos y Lagunas	E2: Ríos
Huevos de helminto	Huevos/litro	-	<1	<1	-	-
Escherichia coli	NMP/100 mL	0	1 000	-	-	-
Organismos de vida libre	Organismo/ Litro	0	-	-	-	-
Metales Totales (*)						
Aluminio	mg/L	0.9	5	5	-	-
Antimonio	mg/L	0.02	-	-	0.64	0.64
Arsénico	mg/L	0.01	0.1	0.2	0.15	0.15
Bario	mg/L	0.7	0.7	-	0.7	0.7
Berilio	mg/L	0.012	0.1	0.1	-	-
Boro	mg/L	2.4	1	5	-	-
Cadmio	mg/L	0.003	0.01	0.05	-	-
Cadmio Disuelto	mg/L	-	-	-	0.00025	0.00025
Calcio	mg/L	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/L	-	0.05	1	-	-
Cobre	mg/L	2	0.2	0.5	0.1	0.1
Cromo	mg/L	0.05	0.1	-	-	-
Hierro	mg/L	0.3	5	-	-	-
Litio	mg/L	-	2.5	2.5	-	-
Magnesio	mg/L	-	-	250	-	-
Manganeso	mg/L	0.4	0.2	0.2	-	-

Parámetros	Unidad de Medida	Estándares de Calidad Ambiental para Agua (a)				
		Cat. 1-A1	Cat. 3		Cat. 4	
		Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección	D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de Animales	E1: Lagos y Lagunas	E2: Ríos
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.01	0.0001	0.0001
Molibdeno	mg/L	0.07	-	-	-	-
Níquel	mg/L	0.07	0.2	1	0.052	0.052
Plata	mg/L	-	-	-	-	-
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.0025	0.0025
Selenio	mg/L	0.04	0.02	0.05	0.005	0.005
Sodio	mg/L	-	-	-	-	-
Talio	mg/L	-	-	-	0.0008	0.0008
Uranio	mg/L	0.02	-	-	-	-
Vanadio	mg/L	-	-	-	-	-
Zinc	mg/L	3	2	24	0.12	0.12
Cromo VI	mg/L	-	-	-	0.011	0.011
Orgánicos						
SAAM (Detergentes)	mg/L	-	0.2	0.5	-	-
Microcistina-LR	mg/L	0.001	-	-	-	-
Fenoles	mg/L	0.003	0.002	0.01	2.56	2.56

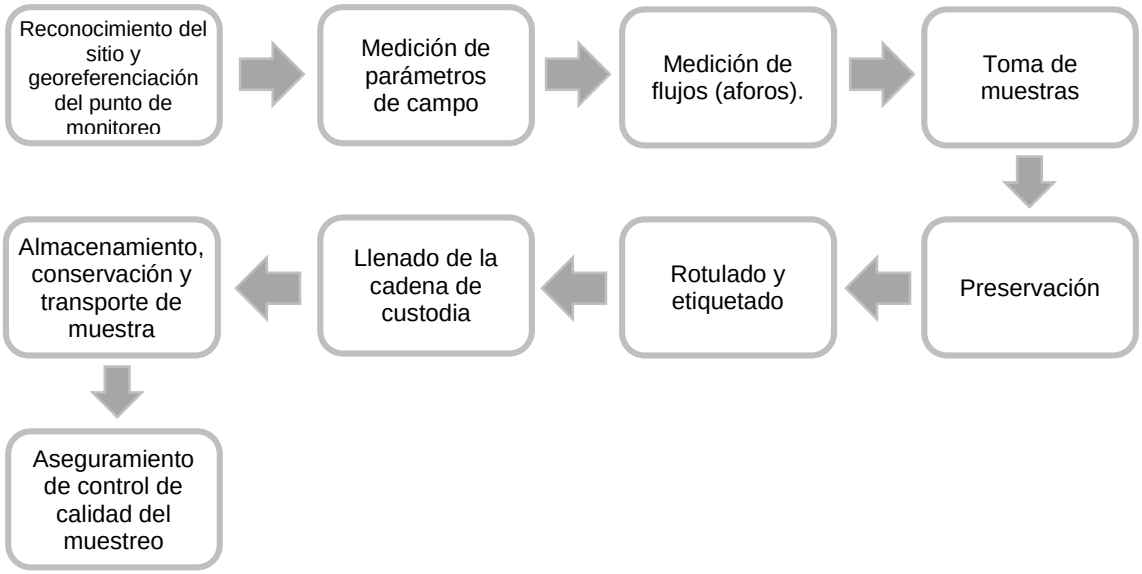
Notas:
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

2.3 Recolección de datos de campo

2.3.1 Toma de muestras

El muestreo de calidad de agua ha sido desarrollado por SGS del Perú S.A., un laboratorio debidamente acreditado, siguiendo los lineamientos indicados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua, el mismo que se resume a continuación:

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo



Para desarrollar los muestreos se siguieron las metodologías estándar de toma de muestras, se midieron los parámetros de campo (pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad eléctrica) y se realizó la preservación, etiquetado, embalaje y transporte de las muestras, para los puntos correspondientes según lo indicado en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2.

Durante los trabajos de campo se aplicaron los procedimientos de control y aseguramiento de calidad necesarios para mantener las muestras de calidad de agua superficial sin alteración hasta su análisis en el laboratorio. También se realizó la medición de caudales en simultáneo a cada toma de muestra.

2.3.2 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.

Las mediciones de caudal mediante el uso de correntómetros y las mediciones de parámetros fisicoquímicos *in situ*, se realizaron empleando equipos debidamente calibrados y certificados. Todos los certificados de calibración se adjuntan en el Anexo I del presente reporte.

2.4 Análisis de laboratorio

Las dieciocho (18) muestras de agua que se evaluaron y que se indican en la Tabla 2-1, se analizaron en el laboratorio SGS Perú, el cual, se encuentra debidamente acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Los informes de ensayo de laboratorio son presentados en el Anexo H.

2.5 Criterios para el análisis de resultados

Los resultados de calidad de agua obtenidos a partir de los muestreos realizados han sido comparados con los valores y rangos establecidos en el D.S. N° 004-2017 MINAM, categorizándolos de acuerdo a su uso, tal y como se indicó en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2.

Los resultados reportados por el laboratorio y los valores de parámetros *in-situ* medidos en campo se procesaron y son mostrados mediante tablas. Para facilitar el análisis de los resultados se muestran tablas resumen de excedencias. De esta manera, se presentan los parámetros que están por encima de los valores de comparación descritos en la Sección 2.2, Parámetros evaluados y estándares ambientales.

2.6 Control de calidad

Los resultados de todos los registros de campo y análisis de laboratorio han sido sometidos a una serie de procedimientos rutinarios de Control de Calidad y Aseguramiento de Calidad. De manera general, se pueden describir dos fases:

- Toma de muestras de control en campo, además de garantizar las condiciones óptimas de colecta, preservación, almacenamiento, transporte y análisis en laboratorio de las muestras de agua. Este control se realizó mediante la toma de muestras de control representativas definidas como “muestras blanco” y “muestras duplicado”. Las muestras blanco se analizan para evaluar una posible contaminación de las muestras durante las actividades de campo y/o de transporte. Las muestras duplicado, son muestras tomadas al mismo tiempo procedentes de un mismo punto de muestreo, tienen como finalidad verificar la precisión del análisis de laboratorio, además de posibles errores durante la recolección de las muestras.

- Control de calidad de los resultados de laboratorio en gabinete. Esta fase consistió en la revisión de los resultados de laboratorio de las muestras blanco y de las muestras duplicado, mediante el cálculo de la diferencia porcentual relativa (DPR), cálculo del balance de cargas; y finalmente la comparación de metales disueltos y totales.

Adicionalmente, Para garantizar la calidad del proceso de muestreo y la repetibilidad de los resultados, debe seguirse los siguientes procedimientos y anotarse cualquier información adicional cuando se tomen las muestras de agua:

- 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).

3 Medición de caudales

Los valores de cada medición fueron anotados en los correspondientes formatos de campo para su posterior cálculo. La Tabla 3-1 presenta los resultados de los aforos realizados; asimismo, el Anexo F presenta los formatos de recojo de información de aforos en campo. Mientras que, en el Anexo E se muestras las fichas de información de campo.

Tabla 3-1 Caudales registrados en campo

Punto	Descripción	Caudal (L/s)	Observación
Puntos de monitoreo con toma de muestra			
M9B	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #1	4.31	
M9C	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #2	0.76	
M9D	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #3	0.77	
PIA-1	Caja de reunión de agua del Proyecto PIASAA	17.53	
S12	Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
S22	Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico	0.94	
S22C	Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico #2.	2.48	
S23	El Porvenir, tanque de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
S24T	San Juan de Yerba Buena, nuevo tanque de agua para consumo doméstico	2.21	
S32A	Rodacocha, tanque de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
S34	El Pedregal, tanque de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
M1	Quebrada Chamcas	258.7	
M17	Quebrada Hierbabuena	2,771.65	
M2	Quebrada Kerosene	81.88	
M21	Río Grande	14,021.6	
M21B	Quebrada Yanacocha	1,781.59	
M22	Laguna Mamacocha	-	Laguna
P11	Piezómetro artesiano en quebrada Hierbabuena	1.13	
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
S1	Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA	3.235	
S2	Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA	1.764	
S3	Manantial El Moro - Proyecto PIASAA	2.370	
S4	Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA	0.598	
S5	Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA	0.513	
S6	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	-	Sin flujo
S7	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	11.806	
S8	Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA	2.19	
S9	Manantial Sin Nombre	0.903	
S20A	Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez)	0.548	
S20B	Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas)	-	Flujo mínimo
S21A	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	0.147	
S21B	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	0.907	
S21C	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	0.468	
S21D	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	-	Flujo mínimo

Punto	Descripción	Caudal (L/s)	Observación
S21E	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	2.362	
S30B	Manantial S30B	0.478	
S30C	Manantial S30C	-	Sin acceso
S30D	Manantial S30D	-	Sin flujo
S34A	Captación de agua para riego en El Pedregal	4.275	
S34B	Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal)	1.788	
M37	Bofedal Pajablanca	2.720	
M4	Laguna Cama de los Shingos	-	Laguna
M5	Laguna Kerosene	-	Laguna

4 Resultados en puntos con toma de muestra

El análisis de los resultados de calidad de agua se enfoca en la observación de las excedencias registradas en las estaciones de monitoreo de la Zona I, de acuerdo a la comparación con los lineamientos del ECA en función al uso de agua identificado (ECA Categoría 1, Categoría 3 y Categoría 4).

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

Tal como se mencionó previamente (Tabla 2-1), el programa de monitoreo incluye la toma de muestra en doce (12) puntos asociados a la categoría 1-A1 del ECA de agua, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.1.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

De acuerdo con en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), se indica que los parámetros de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, deben ser preferentemente analizados *in-situ*; en este sentido, en la Tabla 4-1, se presentan los resultados de estos parámetros y su comparación con los ECA de referencia.

Tabla 4-1 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 1-A1

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 1-A1		**6.5 - 8.5**	**1500**	**≥ 6**	**Δ 3**	**5**
M9B	Tanque #1 ACD Chamcas	7.02	45.2	7.17	11.9	0.60
M9C	Tanque #2 ACD Chamcas	7.15	33.7	6.97	11.6	0.80
M9D	Tanque #3 ACD Chamcas	7.40	57.9	6.69	11.8	0.54
PIA-1	Caja de reunión del Proyecto PIASAA	7.18	332.0	6.60	13.8	1.86
S12	Guagayoc, tanque de ACD	7.38	254.0	6.63	10.6	1.30
S22	ACD en la escuela de YB Alta	6.87	137.3	6.77	11.5	0.78
S22C	Nuevo tanque ACD YB Alta	6.84	151.3	6.88	11.0	1.08
S23	ACD en El Porvenir de YB	7.15	324.00	7.40	10.8	0.17
S24T	Nuevo tanque de ACD en San Juan YB	7.33	389.00	6.12	11.3	0.30
S30A*	Tanque de ACD de Sogorón Alto	-	-	-	-	-
S32A	Tanque de ACD en Rodacocha	**5.75**	13.4	6.83	12.7	0.43
S34	Tanque de ACD en El Pedregal	**4.34**	16.7	6.93	12.6	0.34

Nota:
* No se pudo realizar el muestreo debido a que no se contaba con la presencia de la autoridad que posee las llaves para el acceso al tanque.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4)

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-1, el pH varió entre un valor mínimo de 4.34 y un valor máximo de 7.40 (estaciones S34 y M9D respectivamente). Las estaciones S32A y S34, con valores de pH de 5.75 y 4.34 respectivamente, no cumplirían con los valores de referencia precisados en la Categoría 1-A1 del ECA (6.5 – 8.5). Estas características de acidez estarían relacionadas con la geología de la zona.

Los valores de conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, variaron en un rango relativamente constante y cumplieron los ECA en todas las estaciones de muestreo.

Los valores de oxígeno disuelto registrados en los once (11) puntos muestreados relacionados a la categoría 1 del ECA, varían en un rango entre 6.12 y 7.40 mg/l, con un valor promedio de 6.82 mg/l. Según los resultados obtenidos, todos los puntos evaluados cumplirían el ECA categoría 1-A1 de oxígeno disuelto.

4.1.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-2, se presenta el resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4-2 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1

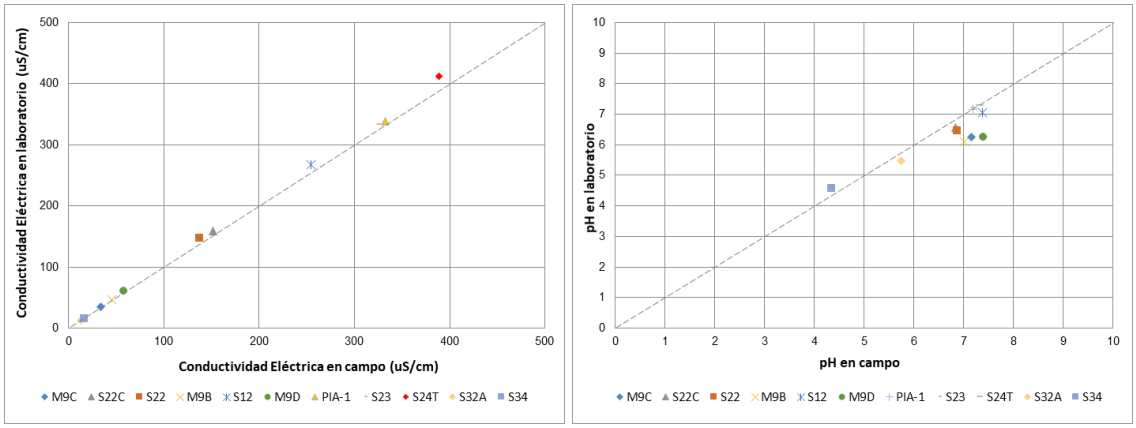
Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	11	2	<LD	3.6	NA	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	11	9	<LD	0.9	0.49	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	11	10	<LD	209.7	83.31	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	11	11	13.6	226.1	91.43	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	11	11	12.4	412	166.14	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	11	11	10	236	97.64	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	11	11	**4.58**	7.28	6.40	6*
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	11	1	<LD	0.07	NA	-
Fósforo Total	mg P/L	11	4	<LD	0.04	NA	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	11	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	11	3	<LD	7.4	NA	-
Aceites y Grasas	mg/L	11	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro total	mg/L	11	0	<LD	<LD	NA	-
Fenoles	mg/L	11	0	<LD	<LD	NA	-
Turbidez	NTU	11	10	<LD	1.86	0.75	-
Conductividad (campo)	uS/cm	11	11	13.4	389	159.50	-
Temperatura	°C	11	11	10.6	13.8	11.78	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	11	11	**4.34**	7.4	6.76	2
Oxígeno Disuelto	mg/L	11	11	6.12	7.4	6.82	-

Notas:
Concen.: Concentración
<LD: Menor al Límite de Detección
NA: No aplica dado que el parámetro solo fue cuantificado en menos del 50% de las muestras.
Para el cálculo de la media, las concentraciones menores al límite de detección se consideraron con un valor igual al LD.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1)
* Los valores de pH evaluados en laboratorio son comparados de manera referencial con los ECA de agua, dado que, según la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales) este parámetro debe ser analizado *in-situ* (en campo).

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, cianuro total y fenoles en ninguno de los puntos de muestreo asociados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-2 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero, estos se encuentran en bajas concentraciones, las cuales no llegan a exceder los ECA..

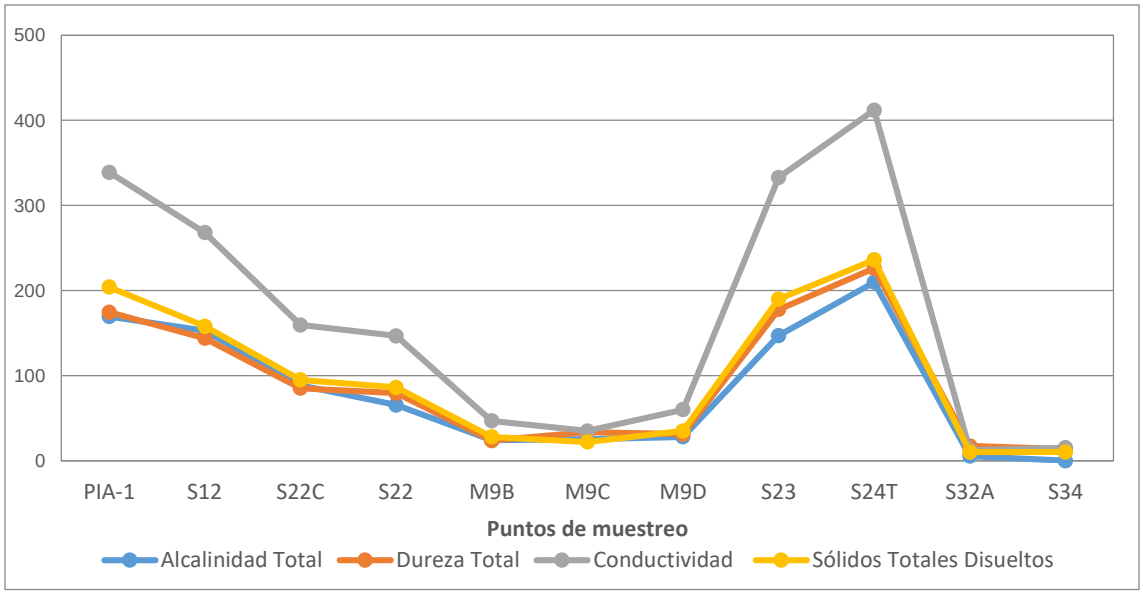
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 13.4 y 389 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 12.4 y 412 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.34 y 7.4, mientras que los resultados de laboratorio indican valores entre 4.58 y 7.28. En las estaciones S22C, S22, M9B, M9C, M9D, S12, S24T y S32A se registraron valores de pH de laboratorio más ácidos en comparación a los resultados obtenidos en campo, esto estaría relacionado a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio. En la Figura 4-1, se muestra gráficamente la correlación existente entre los valores registrados en campo y laboratorio.

Figura 4-1 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 1-A1



La conductividad eléctrica guarda una alta correlación con la concentración de sólidos totales disueltos, la alcalinidad y la dureza. Los valores de sólidos totales disueltos varían en un rango entre 10 y 236 mg/l, con un valor promedio de 97.6 mg/l, evidenciando que a mayor STD existe una mayor conductividad eléctrica. 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 con pH neutro fue clasificada como alcalinidad media a alta, con valores entre 65.4 y 209.7 mg/L. Como se muestra en la Figura 4-2, la alcalinidad, conductividad, dureza y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo.

Figura 4-2 Valores de STD, CE, Dureza 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 (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 I de estudio varía de blanda (puntos M9B, M9C, M9D, S32A y S34) a muy dura (S12, PIA-1, S23 y S24T).

4.1.3 Metales de interés ambiental

Para analizar la calidad del agua respecto a las concentraciones de metales, las comparaciones con los ECA de agua superficial para estos parámetros se realizan en base a las concentraciones totales de los elementos, ya que estas serán mayores que las concentraciones disueltas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones de muestreo cumplen con el ECA de agua respecto a las concentraciones de metales.

En la Tabla 4-3, se presenta el resumen de resultados para metales totales; asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4-3 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 1-A1

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Aluminio Total	11	6	<LD	0.164	0.042	-
*Antimonio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Bario Total	11	9	<LD	0.0323	0.0075	-
*Berilio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Bismuto Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Boro Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Cadmio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Calcio Total	11	11	0.666	67.756	27.989	-
Cerio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Cesio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Cobalto Total	11	3	<LD	0.00047	NA	-
*Cobre Total	11	4	<LD	0.00433	NA	-
*Cromo Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Estaño Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	11	11	0.0029	0.1628	0.0605	-
Fósforo Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Galio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Germanio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Hafnio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	11	11	0.0042	0.0549	0.0209	-
Lantano Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Litio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Lutecio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Magnesio Total	11	11	0.088	5.005	2.078	-
*Manganeso Total	11	6	<LD	0.01798	0.00405	-

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Mercurio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Molibdeno Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Niobio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Niquel Total	11	1	<LD	0.0008	NA	-
Plata Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Plomo Total	11	1	<LD	0.0007	NA	-
Potasio Total	11	8	<LD	0.73	0.32	-
Rubidio Total	11	2	<LD	0.0037	NA	-
*Selenio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Silice Total	11	11	3.23	16.62	8.53	-
Silicio Total	11	11	1.51	7.77	3.99	-
Sodio Total	11	11	0.095	2.224	1.1	-
Talio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Tantalio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Teluro Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Thorio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Titanio Total	11	7	<LD	0.0309	0.0037	-
*Uranio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Vanadio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Wolframio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-
*Zinc Total	11	11	0.0051	0.0402	0.0110	-
Zirconio Total	11	0	<LD	<LD	NA	-

Notas:
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 1-A1
Concen.: Concentraciones
<LD: Menor al Límite de Detección
NA: No aplica dado que el parámetro solo fue cuantificado en menos del 50% de las muestras.
Para el cálculo de la media, las concentraciones menores al límite de detección se consideraron con un valor igual al LD.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-3, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como antimonio, arsénico, berilio, boro, cadmio, cromo, mercurio, molibdeno, selenio y uranio no estuvieron presentes en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como cobre, níquel y plomo, estos presentaron concentraciones mayores al límite de detección (<LD) en menos del 50% de las muestras analizadas, y en todos los casos dichos valores se encontraron muy por debajo del ECA de referencia.

A continuación, se describen los metales de interés ambiental que tuvieron mayor presencia en los puntos de muestreo evaluados:

Aluminio Total

De los once (11) puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), el aluminio total fue detectado en solo seis muestras analizadas, en las cinco muestras restantes las concentraciones se hallaron por debajo del límite de detección (<LD). Las muestras analizadas tuvieron un valor promedio de 0.042 mg/L; y variaron entre un valor mínimo de <LD (<0.003 mg/L) y un máximo de 0.164 mg/L (estación S34). En todos los casos los valores se encontraron por debajo del límite de referencia de la Categoría 1-A1 del ECA de agua (0.9 mg/L).

Bario Total

El bario total estuvo presente en nueve de las once (11) muestras analizadas, en las dos muestras restantes (M9D y S23) se reportaron concentraciones por debajo del límite de detección (<LD). En las muestras con concentraciones detectadas de bario, se tuvo una concentración promedio de 0.0075 mg/L, entre un valor mínimo de <LD (<0.0003 mg/L) y un máximo de 0.0323 mg/L (estación S22C). Cabe indicar que las concentraciones de bario total registradas se encontraron muy por debajo del valor de referencia indicado en el ECA de agua, el cual es de 0.7 mg/L para todas las categorías desarrolladas en el presente informe.

Hierro Total

El hierro total fue detectado en la totalidad de puntos de muestreo de las aguas relacionadas a la categoría 1-A1 del ECA de agua. De acuerdo con los resultados, estas muestras presentaron un valor promedio de 0.0209 mg/L, variando entre un mínimo de 0.0042 mg/L (estación M9D) y un máximo de 0.0549 mg/L (estación PIA-1). En todos los casos los valores de hierro total se encontraron por debajo del límite de referencia de la Categoría 1-A1 del ECA de agua (0.3 mg/L).

Manganeso Total

Se detectaron concentraciones de manganeso total en seis de las once muestras analizadas; dichas concentraciones variaron en un rango entre <LD (0.00010 mg/L) y 0.01798 mg/L (estación S34), con un valor promedio de 0.00405 mg/L. Todas las estaciones cumplen con el valor de referencia de 0.4 mg/L de manganeso total indicado en la categoría 1-A1 del ECA.

Zinc Total

Las concentraciones de zinc total fueron detectadas en la totalidad de los puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. Las muestras analizadas presentaron en promedio una concentración de 0.0110 mg/L de zinc total, con valores que se encuentran en el rango entre 0.0051 mg/L (estación M9D) y 0.0402 mg/L (estación PIA-1), los cuales cumplen con el valor de referencia de 3 mg/L de zinc total para esta categoría del ECA de agua.

4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

En el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de parámetros microbiológicos, a continuación, se describen las características relevantes de los resultados obtenidos.

Coliformes Fecales y Totales

Se reportaron concentraciones mayores al límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL) en cinco puntos de muestreo, cuyos valores variaron en un rango entre 2 NMP/100 mL (estación S22C) y 4.5 NMP/100 mL (estación S34); sin embargo, estos valores cumplen con los estándares establecidos en el ECA de agua (20 NMP/100 mL para la categoría 1-A1).

Los valores de coliformes totales analizados variaron en un rango de <LD (<1.8 NMP/100 mL) en la estación M9D y 17 NMP/100 mL (estación S24T y S34); donde para todos los casos se cumple con el estándar de referencia de 50 NMP/100 mL indicado en el ECA de agua.

Escherichia coli

Las concentraciones de Escherichia coli analizadas se encontraron por debajo del límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL), por lo tanto, cumplen los valores establecidos en el ECA de agua.

Organismos de vida libre

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones S22C, PIA-1 y S32A, en una proporción de 70, 36 y 6 organismos/L respectivamente. Por otro lado, en la estación M9C, se detectaron organismos de vida libre en una proporción de 32 organismos/L, en forma de algas (30 organismos/L) y rotíferos (2 organismos/L).

Estos valores mencionados anteriormente, excederían el estándar de referencia indicado en la norma (0 organismos/L). La presencia de algas suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. De manera similar, la presencia de rotíferos está asociada a la presencia de algas, ya que estos se alimentan de ellas. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua.

En todas las estaciones restantes, no se detectó la presencia de organismos de vida libre, por lo que para estos casos se cumpliría con el estándar de calidad.

Otros parámetros microbiológicos

Se evaluaron otros parámetros microbiológicos, tales como formas parasitarias, larvas de helmintos, guardia duodenalis y quistes y ooquistes de protozoarios patógenos. En todas las estaciones, los ensayos de laboratorio indicaron la ausencia de estos organismos, por lo que se cumpliría lo indicado en el ECA de agua.

Respecto a la detección de Vibrio cholerae, los reportes de laboratorio indican la ausencia en todas las estaciones de muestreo, a excepción de las estaciones S23 y S24T, donde se reporta el estado de crecimiento; por lo que, es de suma importancia realizar una campaña activa de desinfección y limpieza de los tanques de almacenamiento de agua.

Adicionalmente se realizó el análisis de Microcistina LR, donde en todos los casos se registraron valores menores al límite de detección (<LD).

4.2 Aguas superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E2

Tal como se mencionó en el ítem 2.1.1, el programa de monitoreo incluye la toma de muestra en cinco (5) puntos asociados a las categorías 3 y 4 del ECA de agua, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

De acuerdo con en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), se indica que los parámetros de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, deben ser preferentemente analizados *in-situ*; en este sentido, en la Tabla 4-4 se presentan los resultados de estos parámetros y su comparación con los ECA de referencia.

Tabla 4-4 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 3 y 4

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 3-D1 - Riego de vegetales		**6.5 - 8.5**	**2500**	**≥ 4**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 3-D2 - Bebida de animales		**6.5 - 8.4**	**5000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 4-E2 - Ríos		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	
M1	Qda. Chamcas	**6.36**	35.6	7.08	12	3.98
M17	Qda. Hierbabuena	8.05	135.7	7.12	12.40	71.10
M2	Qda. Kerosene	**4.86**	18.8	6.87	11.4	1.75
M21	Río Grande	8.29	200.0	7.08	13.00	41.20
M21B	Qda. Yanacocha	7.84	24.9	7.24	11.70	13.40

Nota:
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4)

Según los resultados obtenidos, las aguas analizadas presentan un pH que varía entre 4.86 y 8.29 (estaciones M2 y M21 respectivamente). En base a la categoría en mención, las estaciones M1 y M2 presentaron valores de pH de 6.36 y 4.86 respectivamente, los cuales incumplirían los valores de referencia indicados en la norma. Es preciso señalar que los puntos mencionados, localizados en la Quebrada Chamcas y la Quebrada Kerosene, se ubican alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría el bajo valor de pH.

Los valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo relacionados con las categorías 3 y 4 del ECA de Agua, varían entre 6.87 y 7.24 mg/l, con un valor promedio de 7.1 mg/l; y cumplen en todos los casos con los valores de referencia del ECA.

De manera similar, los valores de conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, variaron en un rango relativamente constante y cumplieron los ECA en todas las estaciones de muestreo.

4.2.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-5, se presenta el resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos; asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4-5 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3 y 4

Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	5	4	<LD	**24**	14.46	2
Turbidez (laboratorio)	NTU	5	5	1.5	56.3	16.8	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	5	5	1.6	103.7	37.6	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	5	5	18.4	211.5	86.4	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	5	11	122	50.2	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	5	4	<LD	52	23.4	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	5	5	**4.68**	7.26	6.11	3*
Amoníaco	mg NH3/L	5	1	<LD	0.024	NA	-
Fósforo Total	mg P/L	5	3	<LD	**0.12**	0.05	2
Sulfuro	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-

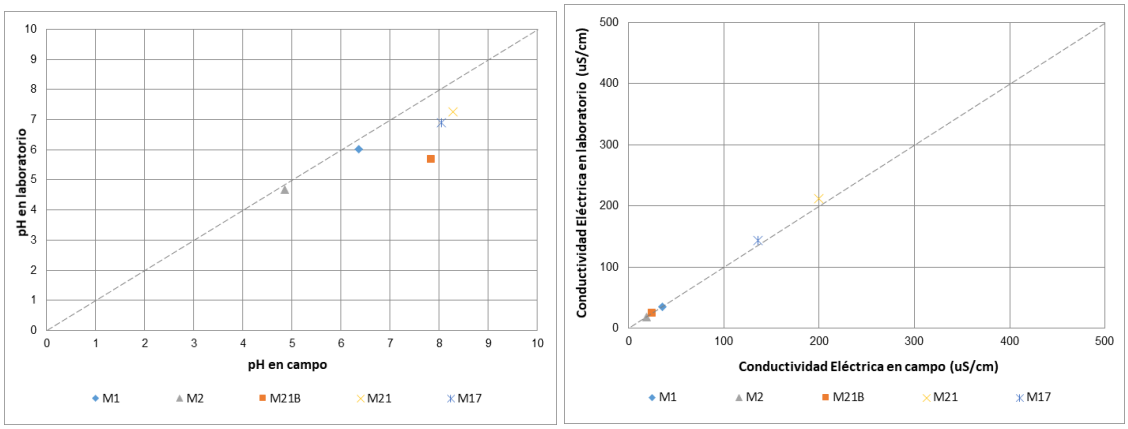
Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	5	3	<LD	13.8	7.8	-
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Aceites y Grasas	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro total	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Fenoles	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro WAD	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Turbidez	NTU	5	5	1.75	71.1	26.3	-
Conductividad (campo)	uS/cm	5	5	18.8	200	83	-
Temperatura	°C	5	5	11.4	13	12.1	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	5	5	**4.86**	8.29	7.08	2
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	5	6.87	7.24	7.08	-

Notas;
Concen.: Concentración
<LD: Menor al Límite de Detección
NA: No aplica dado que el parámetro solo fue cuantificado en menos del 50% de las muestras.
Para el cálculo de la media, las concentraciones menores al límite de detección se consideraron con un valor igual al LD.
* Los valores de pH evaluados en laboratorio son comparados de manera referencial con los ECA de agua, dado que, según la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales) este parámetro debe ser analizado *in-situ* (en campo).

Como se observa en la tabla anterior, no se detectaron concentraciones de cromo hexavalente, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, aceites y grasas, cianuro total, fenoles y cianuro WAD en ninguno de los puntos de muestreo asociados a las categorías 3 y 4 del ECA de agua. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-5 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero, estos se encuentran en bajas concentraciones, las cuales no llegan a exceder los ECA. Se obtuvieron dos concentraciones (0.12 mg/L en estación M21 y 0.11 mg/L en estación M17) de fósforo total que excederían el ECA; cabe indicar que en los cursos de agua la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes procedentes de actividades de terceros, y en oportunidades a características propias del suelo.

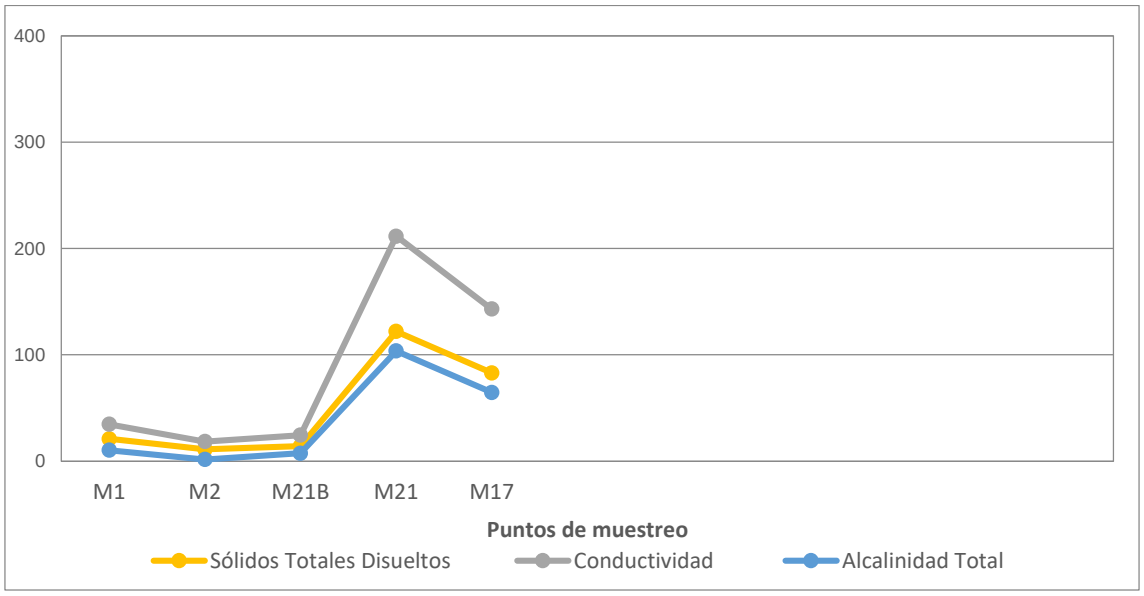
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 18.8 y 200 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 18.4 y 211.5 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.86 y 8.29, mientras que los resultados de laboratorio indican valores entre 4.68 y 7.26. En las estaciones M17 y M21B se registraron valores de pH de laboratorio más ácidos en comparación a los resultados obtenidos en campo, esto estaría relacionado a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio. En la Figura 4-3, se muestra gráficamente la correlación existente entre los valores registrados en campo y laboratorio.

Figura 4-3 Valores de pH y CE registrados en campo y laboratorio en aguas asociadas a la Categoría 3



Como se muestra en la Figura 4-4, la alcalinidad, conductividad y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo.

Figura 4-4 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 3



4.2.3 Metales de interés ambiental

Para analizar la calidad del agua respecto a las concentraciones de metales, las comparaciones con los ECA de agua superficial para estos parámetros se realizan en base a las concentraciones totales de los elementos, ya que estas serán mayores que las concentraciones disueltas. Sin perjuicio de lo anteriormente indicado, el cadmio disuelto corresponde a un metal considerado en la categoría 4 del ECA de agua, por lo que también se considera la descripción de este.

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones de muestreo cumplen con el ECA de agua respecto a las concentraciones de metales, a excepción de una excedencia puntual en el punto de muestreo M2 (cobre).

En la Tabla 4-6, se presenta el resumen de resultados para metales totales, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4-6 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 3 y 4

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Aluminio Total	5	5	0.228	2.173	0.997	-
*Antimonio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	5	1	<LD	0.00141	NA	-
*Bario Total	5	5	0.0058	0.0139	0.0093	-
*Berilio Total	5	1	<LD	0.00018	NA	-
Bismuto Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Boro Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Cadmio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Cadmio Disuelto	5	0	<LD	<LD	NA	-
Calcio Total	5	5	0.548	34.369	12.916	-
Cerio Total	5	3	<LD	0.0024	0.0011	-
Cesio Total	5	1	<LD	0.0003	NA	-
*Cobalto Total	5	5	0.00075	0.00161	0.00112	-
*Cobre Total	5	5	0.00812	**0.20014**	0.05858	1
*Cromo Total	5	1	<LD	0.0039	NA	-
Estaño Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	5	5	0.0028	0.121	0.046	-
Fósforo Total	5	2	<LD	0.115	NA	-
Galio Total	5	1	<LD	0.00035	NA	-
Germanio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Hafnio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	5	5	0.2506	3.6787	1.3886	-
Lantano Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Litio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Lutecio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Magnesio Total	5	5	0.4	2.493	1.231	-
*Manganeso Total	5	5	0.02961	0.10644	0.05618	-
*Mercurio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Molibdeno Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Niobio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Niquel Total	5	3	<LD	0.0033	0.0013	-
Plata Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Plomo Total	5	4	<LD	**0.003**	0.001	1
Potasio Total	5	5	0.43	1.12	0.74	-
Rubidio Total	5	5	0.001	0.0037	0.0022	-
*Selenio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Silice Total	5	5	3.8	14.97	7.99	-
Silicio Total	5	5	1.78	7	3.74	-
Sodio Total	5	5	0.348	1.663	0.743	-
*Talio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
Tantalio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Teluro Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Thorio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Titanio Total	5	3	<LD	0.0244	0.0101	-
Uranio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Vanadio Total	5	1	<LD	0.0026	NA	-
Wolframio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	5	1	<LD	0.00008	NA	-
*Zinc Total	5	5	0.0067	0.0415	0.0175	-
Zirconio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-

Notas;
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 3 y/o categoría 4
Concen.: Concentraciones
<LD: Menor al Límite de Detección
NA: No aplica dado que el parámetro solo fue cuantificado en menos del 50% de las muestras.
Para el cálculo de la media, las concentraciones menores al límite de detección se consideraron con un valor igual al LD.
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 3-D1, 3-D2 y 4-E2)

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-3, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como antimonio, boro, cadmio, litio, mercurio, selenio y talio no fueron detectados en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como arsénico, berilio y cromo estos presentaron concentraciones mayores al límite de detección (<LD) en menos del 50% de las muestras analizadas, y en todos los casos dichos valores se encontraron muy por debajo del ECA de referencia.

A continuación, se describen los metales de interés ambiental que tuvieron mayor presencia en los puntos de muestreo evaluados:

Aluminio Total

En los cinco (5) puntos de muestreo relacionados a la categoría 3 y 4 del ECA de agua, las concentraciones de aluminio tuvieron un valor promedio de 0.997 mg/L; variaron entre un valor mínimo de 0.228 mg/L (estación M1) y un valor máximo de 2.173 mg/L (estación M17). En todos los casos las concentraciones de aluminio total se encontraron muy por debajo del valor de referencia (5 mg/L) de la Categoría 3 y 4 del ECA de agua.

Bario Total

El bario total estuvo presente en la totalidad de las muestras analizadas relacionadas a la categoría 3 del ECA. Este metal varió en un rango de entre 0.0058 mg/L (estación M21B) y 0.0139 mg/L (estación M21), con un valor promedio de 0.0093 mg/L. Cabe indicar que las concentraciones de bario total registradas se encontraron muy por debajo del valor de referencia indicado en el ECA de agua, el cual es de 0.7 mg/L para todas las categorías desarrolladas en el presente informe.

Cobre Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron una concentración promedio de cobre total de 0.05858 mg/L, con un valor mínimo de 0.00812 mg/L en la estación M21, y un valor máximo de 0.20014 mg/L en la estación M2. Este último punto de muestreo mencionado, ubicado en la Quebrada Kerosene, se encontraría por debajo de los valores de referencia indicados en la categoría 3-D2 del ECA, relacionado a la bebida de animales (0.5 mg/L); sin embargo, excedería ligeramente el estándar de 0.2 mg/L referida al riego de vegetales; así como los 0.1 mg/L que indica el valor de referencia para la categoría 4 de la norma (Conservación del ambiente acuático: Ríos). Esta excedencia guardaría relación a la mineralización existente en la zona adyacente al punto de muestreo.

Hierro Total

Se obtuvo una concentración promedio de 0.3886 mg/L de hierro total, con valores que varían entre 0.2506 mg/L (estación M1) y 3.6787 mg/L (estación M17). Para todos los casos, las concentraciones halladas se encontraron por debajo del valor de referencia para hierro total de la categoría 3 del ECA (5 mg/L).

Magnesio Total

Se detectaron concentraciones de magnesio total en todas las estaciones muestreadas, cuyos valores variaron en un rango entre 0.4 mg/L (estación M2) y 2.493 mg/L (estación M21). Todas las estaciones cumplen con el valor de referencia de 250 mg/L indicado en la categoría 3 del ECA de agua.

Manganeso Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA de agua, presentaron concentraciones de manganeso total que varían entre 0.02961 mg/L (estación M1) y 0.10644 mg/L (estación M17). Todas las concentraciones halladas se encontraron muy por debajo del valor de referencia de 0.2 mg/L indicado en la categoría 3 del ECA.

Níquel Total

Se detectaron concentraciones de magnesio total en tres estaciones muestreadas, cuyos valores variaron en un rango entre <LD (<0.0006 mg/L) y 0.0033 mg/L (estación M17). Todas las estaciones cumplen con los valores de referencia de las categorías 3 y 4 del ECA de agua.

Plomo Total

El plomo total fue detectado en cuatro puntos de muestreo, y varió en un rango entre <LD (<0.0006 mg/L) y 0.003 mg/L (estación M17). Este último valor, cumpliría los valores de referencia para la categoría 3 del ECA de agua (Riego de vegetales y Bebida de animales), pero, superaría el valor de referencia de 0.0025 mg/L para la categoría 4 de la norma (Conservación del ambiente acuático: Ríos). Esta excedencia guardaría relación a la mineralización existente en la zona.

Zinc Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron concentraciones que varían entre 0.0067 mg/L (estación M1) y 0.0415 mg/L (estación M17). Para todos los casos, las concentraciones halladas cumplen con las categorías en mención del ECA de agua.

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Como parte de la evaluación de las aguas asociadas a la categoría 3 del ECA de agua, se efectuó el análisis de coliformes fecales, donde las concentraciones variaron entre <LD (<1.8 NMP/100 mL) y 4.5 NMP/100 mL (estación M17), donde para todos los casos se cumple con los niveles de referencia indicados en las categorías 3 y 4 del ECA de agua

Se analizó efectuó también la numeración de Escherichia coli, donde para todos los casos se registraron valores menores al límite de detección (<LD) en todos los puntos de muestreo.

Asimismo, se efectuó la cuantificación de huevos de helmintos, donde los reportes de laboratorio indicaron un valor de 0 para todos los puntos de muestreo.

En el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de parámetros microbiológicos.

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1

El programa de monitoreo incluye un punto de muestreo asociado a la categoría 4-E1 del ECA de agua, el cual corresponde al punto M22 ubicado en la Laguna Mamacocha, cuyos resultados han sido comparados con la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.3.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

En la Tabla 4-7, se presentan los resultados de estos parámetros y su comparación con los ECA de referencia.

Tabla 4-7 Resultados de parámetros medidos en campo (*in-situ*) en aguas Categoría 4-E1

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M22	Laguna Mamacocha	**4.74**	22.4	6.21	11.7	1.56

Nota:
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4)

El punto de muestreo M22, ubicado en la Laguna Mamacocha, presentó un valor de 4.74 de pH, el cual se encuentra fuera del rango indicado en la categoría 4 del ECA. Este valor estaría asociado a la geología de la zona, ya que la Laguna Mamacocha se encuentra alrededor del área mineralizada.

Se registraron valores óptimos de conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, los cuales cumplen con los valores de referencia indicados en los ECA.

4.3.2 Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 4-8, se presenta el resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4-8 Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 4-E1

Parámetro	Unidad	Punto M22	Excede al ECA
Clorofila A	mg/L	<LD	-
Color Verdadero	UC	5	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	1.5	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	<LD	-
Conductividad	uS/cm	20.4	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	19	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	<LD	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<LD	-

Parámetro	Unidad	Punto M22	Excede al ECA
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	4.5	Si*
Amoníaco	mg NH3/L	<LD	-
Nitrógeno Total	mg N/L	0.13	-
Fósforo Total	mg P/L	<LD	-
Sulfuro	mg/L	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	-
Cianuro total	mg/L	<LD	-
Fenoles	mg/L	<LD	-

Notas;
<LD: Menor al Límite de Detección
Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 4-E1)
* Los valores de pH evaluados en laboratorio son comparados de manera referencial con los ECA de agua, dado que, según la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales) este parámetro debe ser analizado in-situ (en campo).

Como se observa en la tabla anterior, en el punto M22 no se detectaron concentraciones de clorofila A, alcalinidad total, sólidos totales suspendidos, cromo hexavalente, amoniaco, fósforo total, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, cianuro total y fenoles. Por otro lado, la mayoría de los demás parámetros presentados en la Tabla 4-5 evidencian concentraciones mayores al límite de detección, pero, estos se encuentran en bajas concentraciones, las cuales no llegan a exceder los ECA.

Según los resultados obtenidos, existe una muy buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Asimismo, las concentraciones de sólidos totales disueltos guardan una excelente correlación con la conductividad, evidenciando que a mayor STD existe una mayor conductividad eléctrica.

4.3.3 Metales de interés ambiental

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones de muestreo cumplen con categoría 4 ECA de agua respecto a las concentraciones de metales.

En la Tabla 4-9, se presenta el resumen de resultados para metales totales, asimismo, en el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

Tabla 4-9 Resumen de resultados para Metales en aguas Categoría 4-E1

Metales (mg/L)	Punto M22	Excede al ECA
Aluminio Total	0.216	-
*Antimonio Total	<LD	-
*Arsénico Total	0.00134	-
*Bario Total	0.0028	-
Berilio Total	<LD	-
Bismuto Total	<LD	-
Boro Total	<LD	-
Cadmio Total	<LD	-
Cadmio Disuelto	<LD	-
Calcio Total	0.716	-

Metales (mg/L)	Punto M22	Excede al ECA
Cerio Total	<LD	-
Cesio Total	<LD	-
Cobalto Total	0.00046	-
*Cobre Total	0.0025	-
Cromo Total	<LD	-
Estaño Total	<LD	-
Estroncio Total	0.0061	-
Fósforo Total	<LD	-
Galio Total	<LD	-
Germanio Total	<LD	-
Hafnio Total	<LD	-
Hierro Total	0.7287	-
Lantano Total	<LD	-
Litio Total	<LD	-
Lutecio Total	<LD	-
Magnesio Total	0.329	-
Manganeso Total	0.0187	-
*Mercurio Total	<LD	-
Molibdeno Total	<LD	-
Niobio Total	<LD	-
*Niquel Total	0.0009	-
Plata Total	<LD	-
*Plomo Total	<LD	-
Potasio Total	0.16	-
Rubidio Total	<LD	-
*Selenio Total	<LD	-
Silice Total	0.39	-
Silicio Total	0.18	-
Sodio Total	0.238	-
*Talio Total	<LD	-
Tantalio Total	<LD	-
Teluro Total	<LD	-
Thorio Total	<LD	-
Titanio Total	0.0021	-
Uranio Total	<LD	-
Vanadio Total	<LD	-
Wolframio Total	<LD	-
Yterbio Total	<LD	-
*Zinc Total	0.0151	-
Zirconio Total	<LD	-

Notas:
*: Metales que cuentan con un ECA de referencia en la categoría 4-E1
<LD: Menor al Límite de Detección

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4-9, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como antimonio, mercurio, plomo, selenio y talio no estuvieron presentes en la Laguna Mamacocha. Los metales presentes tales como arsénico, bario, cobre, níquel y zinc se encontraron en bajas concentraciones y ninguno de ellos superó el valor de referencia indicado en la categoría 4-E1 del ECA de agua.

4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Se efectuó el análisis de coliformes fecales en el punto de muestreo de la Laguna Mamacocha; donde se obtuvo un valor de 2 NMP/100 mL, sin embargo, este valor se encontraría muy por debajo del valor de referencia indicado en la categoría 4 del ECA de agua (1000 NMP/100 mL).

4.4 Agua Subterránea

De acuerdo con lo indicado en la Tabla 2-1, la campaña de monitoreo realizada en la Zona I incluye el muestreo de los principales constituyentes de la calidad del agua del Piezómetro artesiano en Hierbabuena (P11). Debido a que la normativa peruana no cuenta con estándares de calidad para agua subterránea, para fines representativos, estos son comparados referencialmente con la categoría 3 del ECA de agua.

La muestra de agua subterránea analizada presentó una moderada a alta concentración de sólidos totales disueltos (250 mg/L) y una conductividad eléctrica de 413 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.58) y una baja concentración de oxígeno disuelto (2.87 mg/L).

Los análisis de laboratorio realizados indican que estas aguas contienen trazas de metales como bario, boro, calcio, estroncio, hierro, litio, magnesio, manganeso, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio, titanio y zinc. Los metales mencionados anteriormente se encuentran en formas de trazas y en concentraciones muy bajas, que al ser comparados de manera referencial con la categoría 3 del ECA de agua, cumplen la normativa en todos los casos. El resto de los metales analizados se encontraron por debajo del límite de detección del método empleado.

En el Anexo A se presenta el detalle de los resultados de laboratorio de la estación P11.

4.5 Resumen de excedencias en las muestras analizadas de la Zona I

En la Tabla 4-10, se presenta el resumen de excedencias de las 18 muestras enviadas al laboratorio, procedentes de la Zona I.

Tabla 4-10 Resumen de Excedencias Respecto al ECA de Agua Superficial

Estación	Categoría Aplicable*	Parámetros que exceden los ECA de Referencia				
		In-Situ		Fisicoquímicos	Microbiológicos	Metales Totales
		pH**	OD			
M9B	1-A1					
M9C	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas, Rotíferos	
M9D	1-A1					
PIA1	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas	
S12	1-A1					
S22	1-A1					
S22C	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas	
S23	1-A1				Vibrio cholerae	

Estación	Categoría Aplicable*	Parámetros que exceden los ECA de Referencia				
		In-Situ		Fisicoquímicos	Microbiológicos	Metales Totales
		pH**	OD			
S24T	1-A1				Vibrio cholerae	
S32A	1-A1	X			Organismo de Vida Libre Algas	
S34	1-A1	X				
M1	3 y 4					
M17	3 y 4			Color verdadero, Fósforo total		Pb
M2	3 y 4	X				Cu
M21	3 y 4			Color verdadero, Fósforo total		
M21B	3 y 4					
M22	4-E1	X				
P11	A. Sub.					

Notas:
*D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4
** Los rangos de pH establecidos en los ECA para la categoría aplicadas a esta evaluación se detallan a continuación: Categoría 1-A1 en el rango de 6,5-8,5; para la categoría 3, rango de 6,5-8,5 (riego de vegetales) y rango de 6,5-8,4 (bebida de animales); y para la categoría 4, rango de 6,5-9,0 (lagos, lagunas y ríos).
Categoría 1A -Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales
Categoría 4 - Conservación del ambiente acuático - Lagunas y Lagos (4-E1) y Ríos (4-E2).
Un aspa "X" en el recuadro indica que el parámetro no cumple con la categoría del ECA indicado.
A. Sub.: Agua Subterránea

4.6 Evaluación Hidroquímica

Respecto a la química de los iones principales, en la Tabla 4-11 se presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de calidad de agua, estos valores se expresan en miliequivalentes con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica de las aguas.

Tabla 4-11 Concentración de Iones Principales en la Zona I

Punto	Cationes (meq/L)						Aniones (meq/L)					
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+3}	Fe^{+3}	HCO_3^{-}	CO_3^{-2}	Cl^{-}	F^{-}	SO_4^{-2}	$N\text{-}NO_3^{-}$
S12	1.896	0.283	0.006	0.072	0.000	0.000	2.544	0.009	0.006	0.000	0.147	0.024
S22C	1.193	0.151	0.000	0.047	0.000	0.000	1.476	0.001	0.019	0.000	0.110	0.008
S22	0.926	0.190	0.004	0.087	0.000	0.000	1.089	0.001	0.005	0.001	0.112	0.010
M9B	0.249	0.071	0.005	0.038	0.000	0.000	0.400	0.001	0.003	0.000	0.024	0.009
M9C	0.199	0.043	0.000	0.036	0.000	0.001	0.420	0.001	0.003	0.000	0.047	0.004
PIA-1	0.482	0.028	0.004	0.003	0.003	0.000	0.464	0.002	0.005	0.000	0.075	0.002
S23	2.805	0.314	0.004	0.079	0.000	0.000	2.820	0.006	0.064	0.000	0.195	0.085
S24T	2.533	0.108	0.000	0.016	0.000	0.000	2.447	0.005	0.002	0.003	0.285	0.001
S30A	3.373	0.357	0.011	0.055	0.000	0.000	3.489	0.011	0.007	0.001	0.365	0.011
S32A	0.065	0.006	0.000	0.008	0.004	0.001	0.088	0.000	0.003	0.000	0.024	0.018
S34	0.029	0.012	0.000	0.008	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.043	0.015
M1	0.185	0.047	0.000	0.026	0.008	0.005	0.172	0.000	0.005	0.000	0.102	0.007
M2	0.027	0.032	0.004	0.017	0.005	0.002	0.027	0.000	0.005	0.000	0.066	0.003
M17	1.074	0.136	0.009	0.028	0.007	0.007	1.069	0.019	0.005	0.002	0.168	0.004

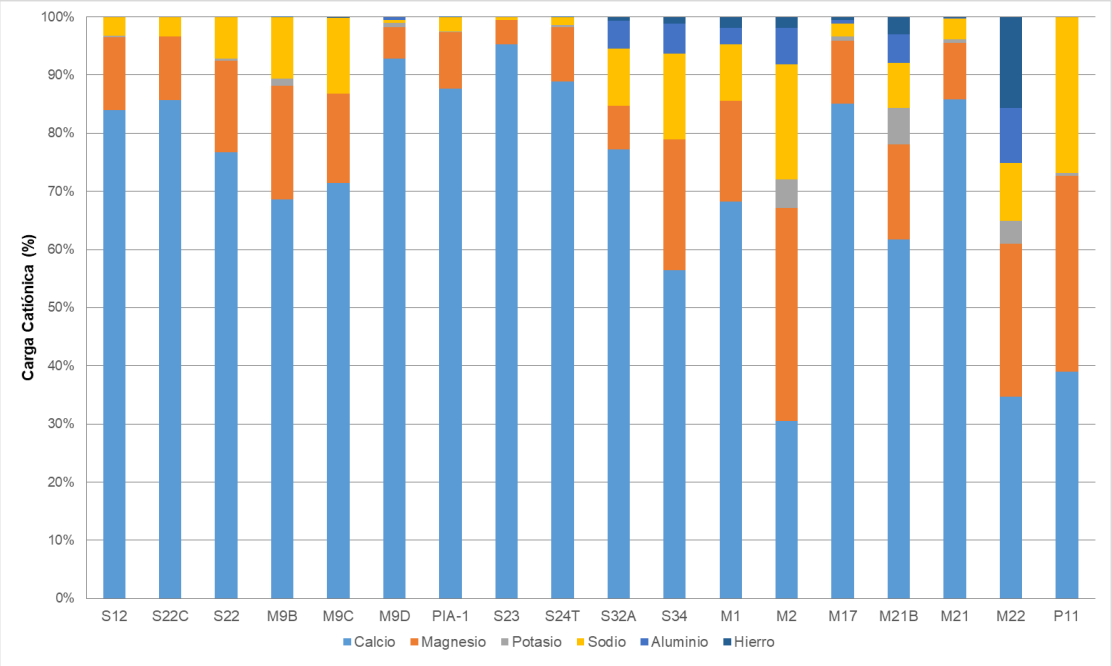
Punto	Cationes (meq/L)						Aniones (meq/L)					
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+3}	Fe^{+3}	HCO_3^{-}	CO_3^{-2}	Cl^{-}	F^{-}	SO_4^{-2}	$N\text{-}NO_3^{-}$
M21B	0.104	0.028	0.010	0.013	0.008	0.005	0.124	0.001	0.003	0.001	0.083	0.005
M21	1.589	0.181	0.010	0.068	0.002	0.003	1.701	0.054	0.006	0.004	0.107	0.006
M22	0.031	0.024	0.004	0.009	0.009	0.014	0.000	0.000	0.004	0.000	0.077	0.000
P11	1.799	1.553	0.021	1.240	0.000	0.000	3.775	0.022	0.008	0.003	0.415	0.000

Notas:

- Las concentraciones de aniones y cationes reportadas por el laboratorio en mg/L han sido convertidas y expresadas en meq/L con el propósito de desarrollar la descripción hidroquímica.
- Las concentraciones de los iones carbonatos y bicarbonatos han sido estimados a partir de la alcalinidad total y el pH, según el método distribución de especies carbonatadas en disoluciones. (Kehew A.E., 2001)
- Aquellos iones que fueron reportados por el laboratorio como menor al límite de detección (<LD), para fines de cálculo se ha considerado una concentración de 0 meq/L, con el propósito de no sobreestimar su presencia en la evaluación.

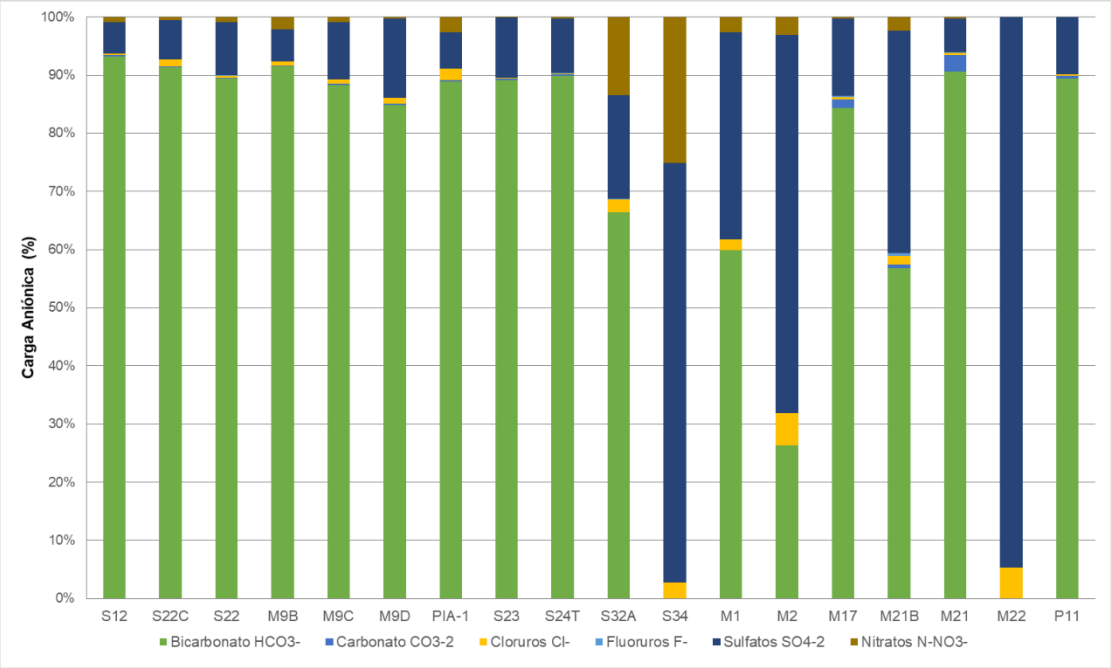
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-5, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona I corresponde al Calcio, primando en catorce (14) de los dieciocho (18) puntos evaluados, variando desde el 62% hasta el 95% de la de la carga catiónica total (CCT). Las cuatro (4) estaciones de muestreo restantes, presentan una carga catiónica total donde predominan cargas mixtas (calcio, magnesio y/o sodio).

Figura 4-5 Distribución de la carga catiónica total en las estaciones de la Zona I



De manera similar, se presenta la Figura 4-6, donde se observa que el ion bicarbonato es el anión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona I, primando en quince (15) puntos de muestreo, con una carga aniónica total que varía entre 60% y 93%. De manera contraria, en las tres (3) estaciones restantes, el sulfato es el ion que prevalece sobre los demás, con una carga aniónica total que varía entre el 65% y 95%.

Figura 4-6 Distribución de la carga aniónica total en las estaciones de la Zona I



En base a lo descrito anteriormente, se realizó la clasificación de los tipos de agua presentes en la Zona I del Proyecto, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12 Resumen de Tipos de Agua en la Zona I del Proyecto

Estación	Catión predominante	Anión predominante	Tipo de Agua	Denominación
S12	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S22C	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S22	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M9B	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M9C	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M9D	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
PIA-1	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S23	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S24T	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S32A	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S34	Ca - Mg	SO_4	Ca-Mg-SO_4	Sulfatada Mixta
M1	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M2	Ca - Mg - Na	SO4	Mg-Ca-Na-SO_4	Sulfatada Mixta
M17	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M21B	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M21	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M22	Ca - Mg	SO_4	Ca-Mg-SO_4	Sulfatada Mixta
P11	Ca - Mg - Na	HCO_3	Ca-Mg-Na-HCO_3	Bicarbonatada Mixta

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 4-12, los tipos químicos de agua identificados en la Zona I son los siguientes:

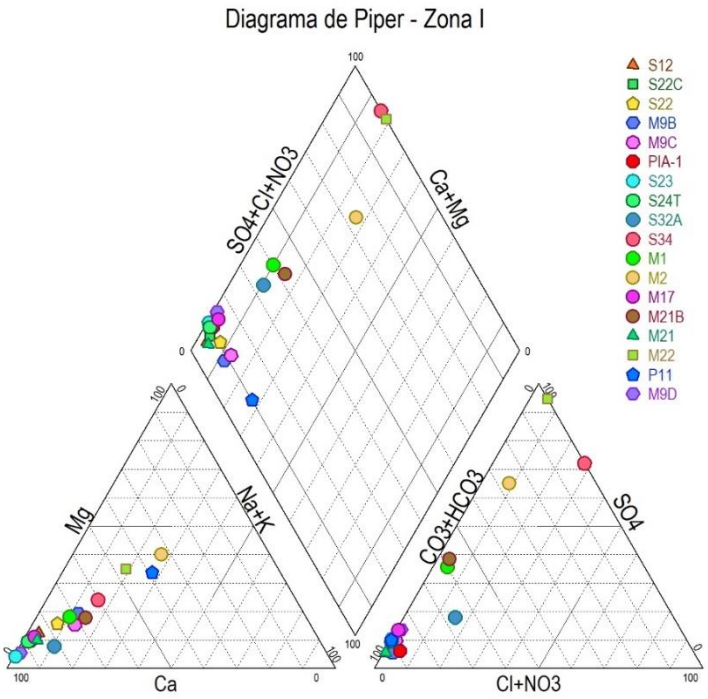
- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en catorce (14) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: S12, S22C, S22, PIA-1, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (83 a 236 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (64.7 a 209.7 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (6.84 a 8.29). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (10 a 35 mg/L), baja alcalinidad (5.3 a 27.9 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (5.75 – 7.84). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Bicarbonatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra P11. Está caracterizada por presentar una alta concentración de STD (250 mg/L), una elevada alcalinidad (227.2 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.58). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio, magnesio y sodio.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34, M2 y M22. El anión predominante es el sulfato, mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total, por el contrario, estos se distribuyen en mayor proporción en iones de calcio, magnesio y sodio. Presentan un pH ácido (4.34 a 4.86), alcalinidad nula (a excepción del punto M2 que presenta una concentración de 1.6 mg CACO3/L), baja concentración de STD (10 a 19 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<22.4 uS/cm).

En la Figura 4-7 se presenta un diagrama de Piper que resume gráficamente los comentarios descritos.

Figura 4-7 Diagrama Piper para los Iones Principales – Zona I



La distribución espacial de los tipos de agua mencionados anteriormente, se presentan en el Mapa 4.1.

5 Resultados en puntos con solo registro de parámetros de campo

Se efectuó el registro de parámetros de campo de calidad de agua en veinticuatro (24) puntos de muestreo adicionales en la Zona I del Proyecto. Para la evaluación de los resultados de campo, los puntos evaluados se clasifican de acuerdo a su uso, de esta forma se tienen trece (13) puntos asociados a la categoría 1-A1 del ECA, nueve (9) puntos asociados a la categoría 3, y dos (2) puntos relacionados a la categoría 4 del ECA de agua. La Tabla 5-1 muestra los resultados de la evaluación efectuada en campo.

Tabla 5-1 Resultados *in-situ* en los puntos de muestreo con solo registro de parámetros de campo

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 1-A1		**6.5 - 8.5**	**1500**	**≥ 6**	**Δ 3**	**5**
S1	Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA	6.5	53.6	6.64	14.0	3.37
S2	Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA	6.8	197.0	**5.94**	11.9	2.65
S3	Manantial El Moro - Proyecto PIASAA	**5.4**	41.0	6.31	12.8	2.63
S4	Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA	7.3	418.0	6.39	13.0	1.26
S5	Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA	7.3	479.0	6.68	12.5	2.32
S6	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	Sin flujo				
S7	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	7.3	441.0	6.31	13.4	1.64
S8	Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA	7.5	445.0	6.78	12.9	2.20
S9	Manantial Sin Nombre	7.76	386.0	6.82	13.8	1.52
S34B	Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal)	**5.60**	14.8	6.79	11.3	0.27
S30B	Captación ACD Sogorón Alto	**5.60**	8.4	6.80	13.1	1.50
S30C	Captación ACD Sogorón Alto	No se contó con la llave de la captación				
S30D	Captación ACD Sogorón Alto	Sin flujo				
ECA Categoría 3 - Riego de vegetales		**6.5 - 8.5**	**2500**	**≥ 4**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 3 - Bebida de animales		**6.5 - 8.4**	**5000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
S21E	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	6.56	39.4	6.30	11.9	1.07
S21D	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	6.51	34.5	6.45	11.8	0.94
S21C	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	6.78	29.5	6.10	11.4	0.58
S21B	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	6.89	270.8	5.89	12.4	1.91
S21A	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	7.04	294.0	5.79	12.7	0.88
S20A	Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez)	7.08	355.0	6.09	13.7	3.21
S20B	Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas)	7.00	368.0	5.01	13.5	1.38
S34A	Captación de agua para riego en El Pedregal	**5.86**	8.2	7.16	11.4	0.60
M37	Bofedal Pajablanca	**5.50**	15.3	7.70	11.1	0.77
ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M5	Laguna Kerosene	**5.60**	10.4	6.65	14.3	1.40
M4	Laguna Cama de los Shingos	**5.01**	7.0	7.30	13.5	2.06

Nota: Un valor en negrita y resaltado en gris indica que se superó el ECA de referencia (D.S. N° 004-2017-MINAM, Categorías 1-A1, 3 y 4)

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 5-1, los puntos de evaluación poseen las siguientes características:

5.1 Aguas relacionadas a la Categoría 1-A1 del ECA

La mayoría de los puntos de evaluación relacionados al proyecto PIASAA (S1 al S9) presentaron un pH neutro a alcalino, a excepción del punto S3 que presenta un pH ligeramente ácido, con un valor de 5.4, el cual se encontrarían fuera del rango de referencia indicado en la categoría 1-A1 del ECA de agua. Se registraron valores iguales de pH (5.6) en los puntos S34B y S30B, asociados a las captaciones de agua para consumo doméstico del caserío El Pedregal y Sorgón Alto, los cuales se encontraron fuera del rango de referencia del ECA. Como se indicó en capítulos previos, estos valores ácidos de pH estarían relacionados a la mineralización de la zona en la que se ubican las fuentes de captación de agua. Por otro lado, no fue posible realizar el muestreo en los puntos restantes S30C y S30D de Sorgón Alto, debido a que en el primero no se contaba con la llave de acceso hacia el punto de captación, y en el segundo, no había flujo de agua.

La conductividad eléctrica varió entre 8.4 y 445 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.27 y 3.37 NTU; para todos estos casos los resultados cumplieron el ECA. En relación al oxígeno disuelto, el punto de evaluación S2 se encontró por debajo del valor mínimo recomendado en el ECA de agua. Este valor bajo de oxígeno disuelto se debería al estancamiento de las aguas, ya que no permite un intercambio continuo de oxígeno con la atmosfera.

5.2 Aguas relacionadas a la Categoría 3 del ECA

Los valores de pH registrados en los cuerpos de agua relacionados al riego de vegetales y consumo de animales variaron entre valores ácidos y neutros, en un rango de 5.50 y 7.08. El pH en los puntos S34A y M37 se encontró por debajo del límite inferior de la categoría 3 del ECA; estos resultados estarían relacionados a la mineralización existente en la zona.

La conductividad eléctrica varió entre 8.2 y 368 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.58 y 3.21 NTU; para todos estos casos los resultados cumplieron el ECA. El oxígeno disuelto, para todos los casos, cumplió el valor mínimo establecido en los ECA.

5.3 Aguas relacionadas a la Categoría 4 del ECA

Las lagunas Kerosene (M5) y Cama de los Shingos (M4), presentaron valores de pH de 5.60 y 5.01 respectivamente, los cuales se encontrarían por debajo del rango establecido en los ECA, y estarían asociados a la mineralización del lugar. En estas dos lagunas se registraron valores bajos de conductividad eléctrica, concentraciones aceptables de oxígeno disuelto y niveles de turbidez bajos, los cuales cumplirían los ECA para ambos casos.

6 Resultados del procedimiento de control de calidad

6.1 Blanco viajero y blanco de campo

Un blanco viajero consiste en una muestra de agua destilada preparada en el laboratorio y enviada junto con el resto de los materiales (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. Por otro lado, un blanco de campo consiste en una muestra de agua destilada preparada en la misma estación de muestreo, cuyo objetivo de esta muestra blanco es identificar si las muestras de campo han sido contaminadas durante el muestreo.

Los resultados de la muestra de blanco de campo (BK-campo2), tomada junto a la estación S22C, indican que se detectaron concentraciones mayores al límite de detección en dos (2) parámetros, correspondiendo a un 1.9% del total de parámetros analizados. Estas concentraciones detectadas en sulfato y magnesio total son muy bajas y sugieren la posibilidad de una casual presencia de aniones en el agua destilada (lo cual sugiere una mala calidad de esta) o, presencia de estos en el recipiente (por ejemplo, presencia de algún anión en recipientes de plásticos o un procedimiento de lavado, enjuague y secado de recipientes).

Respecto a los resultados de la muestra de blanco viajero (BK-viajero), todos los parámetros se reportaron como menores al límite de detección (<LD), a excepción de una pequeña traza de magnesio total (0.004 mg/L), cuyo valor es muy cercano al límite de cuantificación del método (0.003 mg/L), lo que indicaría cierto grado de incertidumbre y no invalidaría la confiabilidad del muestreo.

Los resultados del análisis de las muestras de blancos se muestran en el Anexo A.

6.2 Balance de cargas

El cálculo del error en el balance de cargas es un criterio utilizado para determinar la calidad de los resultados mediante la ecuación del Error (E) del Balance Iónico o de Cargas (Freeze y Cherry, 1979), bajo la premisa que las aguas son eléctricamente neutras y por consiguiente la carga de cationes y aniones debe ser equivalente.

La fórmula para calcular el E es:

$$E = \frac{\sum m_c - \sum m_a}{\sum m_c + \sum m_a} \times 100$$

Donde:

E: Error de balance de carga expresado en porcentaje (%);

Σm_c: Suma de las concentraciones en meq/L de las especies catiónicas; y

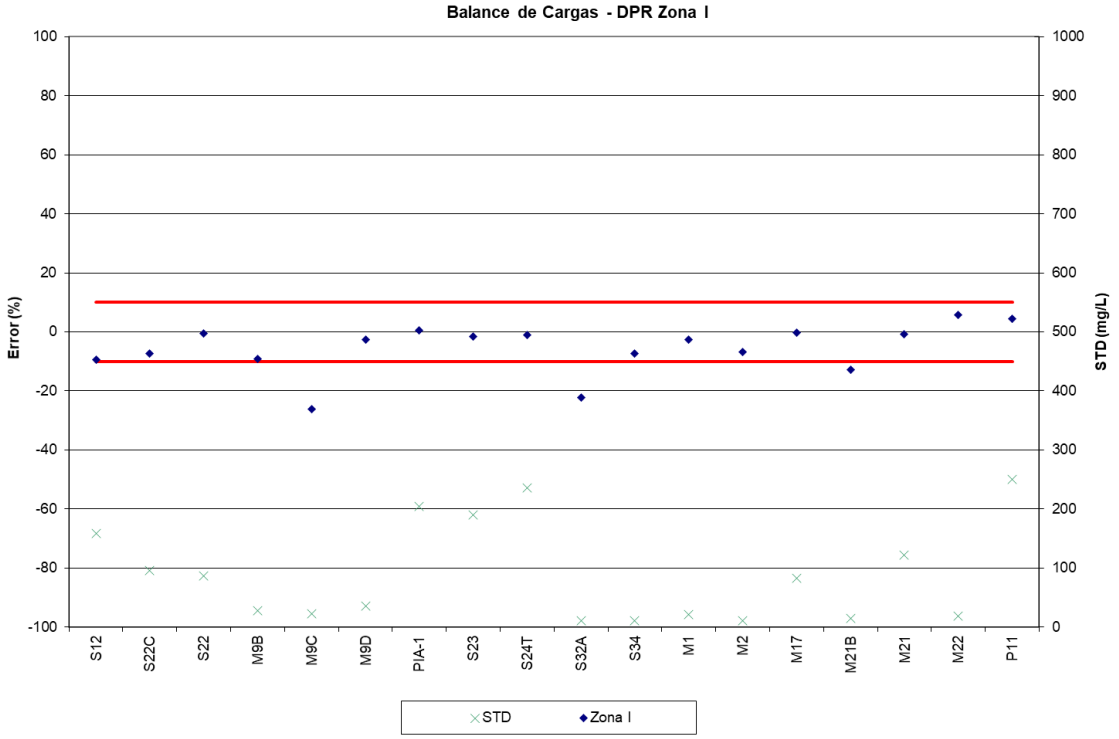
Σm_a: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

Para el cálculo del *E* se utilizaron los resultados de los iones principales, convertidos a miliequivalentes por litro (meq/L). Los cationes principales utilizados fueron Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, Al^{+3} y Fe^{+3}; y los aniones principales utilizados fueron HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-}, F^{-}, SO_4^{2-}, y NO_3^{-}.

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). Sin embargo, para aguas superficiales un error de hasta 10% es aceptable.

En la Figura 6-1, se presenta de manera gráfica el error de balance iónico obtenido para cada estación. Se observa que para la mayoría de los casos el porcentaje de error varía en rango aceptable de ± 10%, sin embargo, se presentan tres excepciones en el que el error de cargas está fuera de este rango, la explicación a estos valores registrados se basa en que dichas estaciones presentaron valores bajos las cargas catiónicas y aniónicas; además de que para el caso de los puntos M9C, S32A y M21B se presentaron bajas concentraciones de STD (22, 10 y 14 mg/L respectivamente).

Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona I

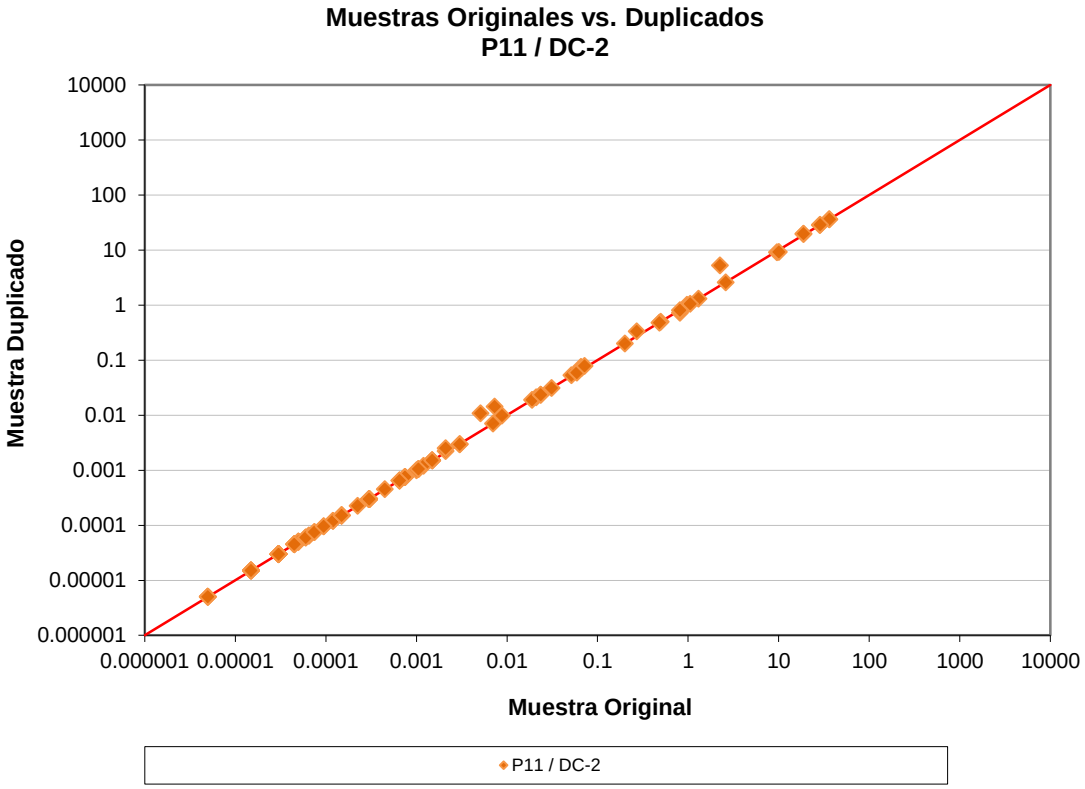


6.3 Análisis de duplicados

Durante el muestreo de la Zona I, se generó una muestra duplicada (DC-2) del punto P11, cuyos resultados son presentados en el Anexo A.

En la Figura 6-2, se muestra una gráfica que relaciona los resultados de las muestras analizadas P11 y DC-2. La gráfica evidencia que la mayoría de los puntos de intersección de las concentraciones de ambas muestras (original y duplicado), se encuentran cercanas a la recta de 45°, y por lo tanto, cumplen con el criterio de control de calidad utilizado.

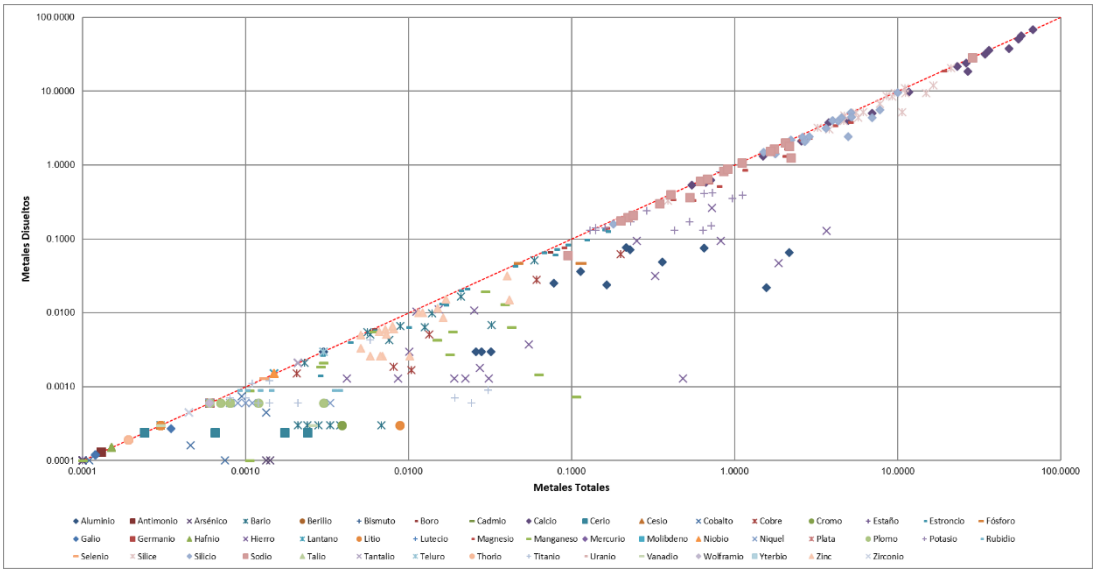
Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados



6.4 Comparación entre metales totales y disueltos

La concentración de metales disueltos conforma una fracción del estado en el que se encuentran los metales en el agua, por lo tanto, la concentración de metales totales deberá ser siempre mayor a la concentración de metales disueltos, siendo así que la concentración de metales totales estará en función a la concentración de metales disueltos y la concentración de metales en suspensión. En la Figura 6-3, se puede verificar que las concentraciones de metales disueltos son menores a las concentraciones de sus pares de metales totales.

Figura 6-3 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos



7 Conclusiones y recomendaciones

Las aguas naturales presentes en el área del proyecto son en general de buena calidad y cumplen en su mayoría con los ECA correspondientes. Los valores de conductividad, dureza, y alcalinidad varían directamente con el incremento de STD. Bajas concentraciones de metales totales y disueltos se presentan en la mayoría de las muestras evaluadas, sin embargo, en algunos puntos se excedieron los ECA para algún parámetro analizado, estos se resumen a continuación, según categoría de análisis.

- *Aguas Categoría 1-A1:*

El pH excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S32A y S34; estas aguas proceden de la misma ubicación geográfica y las características de acidez estarían relacionadas con la geología de la zona. El oxígeno disuelto, se encontró en valores óptimos según el ECA para agua Categoría 1-A1 (≥ 6 mg/L), por lo tanto, cumplen con la norma para todos los casos.

Todos los metales analizados, para todos los puntos de muestreo relacionados a la Categoría 1-A1 del ECA de agua, cumplen con los valores de referencia indicados en la norma.

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones S22C, PIA-1 y S32A (70, 36 y 6 organismos/L respectivamente). Además, en la estación M9C, se detectaron organismos de vida libre en una proporción de 32 organismos/L, en forma de algas (30 organismos/L) y rotíferos (2 organismos/L). La presencia de algas suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas. De manera similar, la presencia de rotíferos está asociada a la presencia de algas, ya que estos se alimentan de ellas. Asimismo, respecto a la detección de Vibrio cholerae, los reportes de laboratorio indican la ausencia en todas las estaciones de muestreo, a excepción de las estaciones S23 y S24T, donde se reporta el estado de crecimiento.

Por lo anteriormente mencionado, es de suma importancia realizar una campaña activa de desinfección y limpieza de los tanques de almacenamiento de agua.

Para todos los demás parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, y parámetros microbiológicos, en todas las estaciones se cumplieron los ECA para la categoría 1-A1.

En relación a los trece (13) puntos donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo, el pH en las captaciones de agua Sorgón Alto (S30B), El Pedregal (S34B) y el manantial El Moro (S3) fue ácido y excedió el ECA correspondiente. Estos valores de pH que excederían el ECA, estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. Por otro lado, el oxígeno disuelto se presentó por debajo del límite inferior de los ECA en el punto S2; sin embargo, este valor estaría asociado al estancamiento y confinamiento de las aguas. La conductividad eléctrica y turbidez cumplieron con la categoría 1-A1 de los ECA para los puntos evaluados.

- *Aguas Categoría 3:*

Se presentaron dos excedencias en pH en los puntos M1 y M2, donde se obtuvieron valores ácidos. No obstante, los puntos mencionados, localizados en la Quebrada Chamcas y la Quebrada Kerosene, se ubican alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría el bajo valor de pH.

En las estaciones M21 y M17 se reportaron excedencias respecto al ECA en color verdadero y fósforo total. Es preciso señalar que, en los cursos de agua, la presencia de fósforo está relacionada al uso de fertilizantes, jabones o detergentes procedentes de actividades de terceros, y en oportunidades a características propias del suelo.

Respecto a los metales analizados, se presentó una excedencia de cobre total en el punto M2, y otra excedencia de plomo total en el punto M17. Si bien las concentraciones halladas se encuentran ligeramente por encima del valor de referencia indicado en los ECA, estos resultados guardarían relación con la mineralización existente en la zona.

Para todos los demás parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, y parámetros microbiológicos, en todas las estaciones se cumplieron los ECA para las categorías 3 y 4.

En relación a los nueve (9) puntos donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo, se presentaron valores de pH ligeramente ácidos que incumplirían la categoría 3 del ECA, en los puntos de muestreo S34A y M37, los cuales, por su ubicación y cercanía a la zona mineralizada, generan estos valores de acidez. El oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbidez, cumplen con los ECA en los nueve puntos de evaluación.

- *Aguas Categoría 4:*

El punto M22 ubicado en la Laguna Mamacocha presentó un valor de 4.74 de pH, el cual se encuentra fuera del rango establecido en la categoría 4 del ECA. A excepción del pH, el agua de la muestra analizada presentó una buena calidad y cumplió todos los valores de referencia indicados en la categoría 4-E1 del ECA de agua.

En relación a los dos (2) puntos donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo, el pH en la Lagunas Cama de los Shingos (M4) y Laguna Kerosene (M5) fue ligeramente ácido, excediendo el límite inferior del rango de referencia de la categoría 4 del ECA de agua. Por otro lado, la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez, cumplieron con la categoría 4 de los ECA para los puntos evaluados.

Los valores ácidos de pH identificados en esta categoría estarían influenciados por la geología de la zona en donde se ubica la estación de monitoreo M22, ya que esta laguna se encuentra rodeada de un área mineralizada.

- *Agua Subterránea:*

La muestra de agua subterránea analizada (P11) presentó una moderada a alta concentración de sólidos totales disueltos (250 mg/L) y una conductividad eléctrica de 413 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.58) y una baja concentración de oxígeno disuelto (2.87 mg/L), lo cual es un indicador normal en aguas subterráneas.

Al comparar de manera referencial los resultados de laboratorio de la muestra de agua subterránea con la categoría 3 de los ECA de agua, todos los parámetros de campo, parámetros orgánicos e inorgánicos, metales y parámetros microbiológicos cumplieron con la norma.

- *Química del agua:*

En base al análisis de la química de iones principales en las aguas analizadas, se pudieron identificar y caracterizar los siguientes tipos de agua:

- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en catorce (14) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: S12, S22C, S22, PIA-1, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (83 a 236 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (64.7 a 209.7 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (6.84 a 8.29). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (10 a 35 mg/L), baja alcalinidad (5.3 a 27.9 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (5.75 – 7.84). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Bicarbonatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra P11. Está caracterizada por presentar una alta concentración de STD (250 mg/L), una elevada alcalinidad (227.2 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.58). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio, magnesio y sodio.

- Aguas Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras S34, M2 y M22. El anión predominante es el sulfato, mientras que ningún catión llega a representar más del 50% de la carga total, por el contrario, estos se distribuyen en mayor proporción en iones de calcio, magnesio y sodio. Presentan un pH ácido (4.34 a 4.86), alcalinidad nula (a excepción del punto M2 que presenta una concentración de 1.6 mg CACO3/L), baja concentración de STD (10 a 19 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<22.4 uS/cm).

En base al análisis de control de calidad, es posible indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento, transporte y análisis de laboratorio, no han generado algún tipo de distorsión y/o error significativo que pueda generar una alteración relevante de los resultados obtenidos; sin embargo, si bien los resultados pueden considerarse representativos, debe prestarse mayor atención en el aseguramiento de la calidad al momento del almacenaje de las muestras y la elaboración de un balance iónico integral por parte del laboratorio; de tal manera que se evite la presencia de trazas químicas en las muestras de blanco, y se minimicen las desviaciones en los errores de balance de cargas.

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.

Kehew, A.E. (2001). Applied Chemical Hydrogeology. Prentice Hall

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.