PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA SECA 2024

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, AGOSTO 2024

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 42

5.1 Aguas relacionadas a la Categoría 1-A1 del ECA 43

5.2 Aguas relacionadas a la Categoría 3 del ECA 43

5.3 Aguas relacionadas a la Categoría 4 del ECA 43

6 RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD 44

6.1 Blanco viajero y blanco de campo 44

6.2 Balance de cargas 44

6.3 Análisis de duplicados 45

6.4 Comparación entre metales totales y disueltos 46

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 47

8 REFERENCIAS 50

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 42

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 41
Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona I 45
Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados 46
Figura 6-3 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos 46

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 seca 2024, y fueron desarrollados entre el 11 y 28 junio del 2024. 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 seca se contó con la participación de los siguientes actores:

- En los puntos de monitoreo de Sorgón Alto, el día 20 de junio, participó el señor Epifanio Alvarado Villanueva, presidente de la JASS de Rodococha.

- En los puntos de monitoreo de El Pedregal, el día 20 de junio, participó el señor Francisco Terrones Villanueva, secretario JASS de Pedregal.

- En los puntos de monitoreo de El Porvenir, el día 21 de junio, participó el señor Alberto Vera Bolaños, presidente JASS, así como el señor Pascual Tasilla Chaupe, presidente del canal Kiskimayo. Además de la participación del señor Juan Novoa Cortez, teniente gobernador de El Porvenir.

- En los puntos del caserío Guagayoc, el día 24 de junio, participó el señor Escolastico Chaupe Sanchez, presidente PIASAA, además del señor Juan Diaz Duran, fiscal PIASAA

- En los puntos del caserío San Lorenzo de Lipiac, el día 25 de junio, participó el señor Orlando Culqui Alvarado, presidente JASS.

- En los puntos de monitoreo de Yerba Buena Alta, el día 26 de junio, participó el señor Teofilo Aguilar Chilón

- En los puntos de monitoreo de El Pedregal, el día 28 de junio, participó el señor Pablo Terrones, agente municipal; además de el señor Concepción Terrones, presidente de rondas.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Jaime Llanos Salazar, quien participó en el monitoreo de agua el día 11, 20, 24 y 28 de junio

- Olger Tasilla Alvarado, quien participó en el monitoreo de agua el día 11, 20, 21, 24 y 26 de junio.

- Anunciación Huamán Chávez, quien participó en el monitoreo de agua el día 12, 25 y 26 de junio.

- Manuel Salazar Llanos, quien participó en el monitoreo de agua el día 12, 21, 25 y 28 de junio

2 Metodología

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Como parte de la campaña de monitoreo, en la Zona I, se cuentan con 42 puntos de evaluación. De los cuales, en veinte (20) puntos, se miden parámetros de campo y adicionalmente se colectan muestras para ser analizadas en laboratorio; mientras que, en los veintidós (22) 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 veinte (20) puntos en donde se recolectaron muestras para ser enviadas y analizadas en el laboratorio; asimismo, en estos lugares se registraron 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 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 (1)
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
S12B	9 224 646	794 442	3 577	Guagayoc, tanque de ACD	1-A1	Si
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
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	Si
S32A	9 223 170	794 470	3 647	Tanque de ACD en Rodacocha	1-A1	Si
S34	9 223 866	792 982	3 565	Tanque de ACD en El Pedregal	1-A1	Si
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 (2)
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.
(1) Solo se efectuó el muestreo de calidad aguas, no se puedo realizar la medición de caudales porque el reservorio se encontraba cerrado.
(2) 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 veintidós (22) puntos donde se efectúa el registro 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 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
S30B	9 225 343	796 489	3 858	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	No (3)
S30C	9 225 116	796 496	3 818	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	Si
S30D	9 225 063	796 373	3 783	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	No (3)
S34B	9 224 494	794 863	3 642	Captación de ACD El Pedregal	1-A1	Si
S20A	9 224 765	793 125	3 516	Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez)	3	Si
S20B	9 224 891	793 347	3 547	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Genaro Ocas)	3	Si
S21A	9 224 621	794 322	3 626	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	3	No (2)
S21B	9 224 646	794 442	3 577	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	3	Si
S21C	9 224 688	794 641	3 620	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	3	Si
S21D	9 224 760	794 654	3 632	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	3	Si
S21E	9 224 767	794 766	3 646	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	3	Si
M37	9 227275	794 000	3 920	Bofedal Pajablanca	3	Si
S34A	9 224 770	795 312	3 690	Capt. agua para riego en El Pedregal	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

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S		Altitud	Descripción	Categoría ECA	Efectuado
	Norte	Este				

Notas:
ACD = agua para consumo doméstico
(1) No se realizó la medición porque se encontraban sin flujo.
(2) No se realizó la medición debido a que el agua estaba empozada.
(3) No se realizó la medición debido a que no se contó con las llaves de acceso a 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	

Parámetro	Tipo de muestra analizada				
	ECA Categoría 1-A1	ECA Categoría 3 y 4	ECA Categoría 4	Agua Subterránea	Muestras de Blanco
Conductividad	X	X	X	X	
Cromo Hexavalente		X	X		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	X	X	X	X	
Demanda Química de Oxígeno	X	X		X	
Detergentes Aniónicos		X			
Dureza Total	X				
Fenoles	X	X	X	X	
Fluoruros. F-	X	X	X	X	X
Fósforo Total	X	X	X		
Fosfatos, PO4-3	X	X	X	X	X
Nitratos. NO3-	X	X	X	X	X
Nitritos. NO2-	X	X		X	X
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

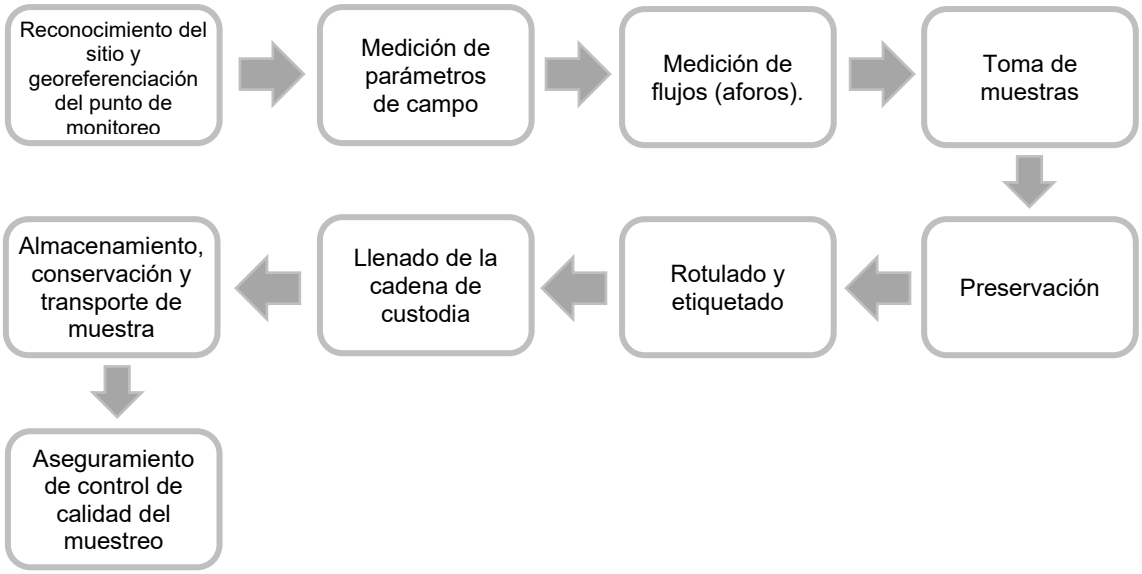
Notas:
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

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 veinte (20) 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 muestra 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	0.513	
M9C	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #2	-	Reservorio cerrado
M9D	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #3	0.43	
PIA-1	Caja de reunión de agua del Proyecto PIASAA	6.849	
S12	Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico	0.415	
S12B	Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico	0.265	
S22	Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico	0.172	
S22C	Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico #2.	0.12	
S23	El Porvenir, tanque de agua para consumo doméstico	0.585	
S24T	San Juan de Yerba Buena, nuevo tanque de agua para consumo doméstico	1.308	
S30A	Sorgón Alto, tanque de agua para consumo doméstico	1.131	
S32A	Rodacocha, tanque de agua para consumo doméstico	0.688	
S34	El Pedregal, tanque de agua para consumo doméstico	0.207	
M1	Quebrada Chamcas	10	
M2	Quebrada Kerosene	6	
M17	Quebrada Hierbabuena	15	
M21	Río Grande	444	
M21B	Quebrada Yanacocha	120	
M22	Laguna Mamacocha	-	Laguna
P11	Piezómetro artesiano en quebrada Hierbabuena	0.535	
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
S1	Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA	0.65	
S2	Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA	0.067	
S3	Manantial El Moro - Proyecto PIASAA	0.109	
S4	Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA	0.067	
S5	Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA	0.226	
S6	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	-	Sin flujo
S7	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	4.617	
S8	Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA	1.094	
S9	Manantial Sin Nombre	0.820	
S20A	Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez)	0.904	
S20B	Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas)	0.142	
S21A	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	-	Agua empozada

Punto	Descripción	Caudal (L/s)	Observación
S21B	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	0.762	
S21C	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	0.170	
S21D	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	0.324	
S21E	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	1.045	
S30C	Manantial S30B	-	Ausencia de llaves
S30C	Manantial S30C	1.112	
S30C	Manantial S30D	-	Ausencia de llaves
S34A	Captación de agua para riego en El Pedregal	5.723	
S34B	Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal)	1.909	
M4	Laguna Cama de los Shingos	-	Laguna
M5	Laguna Kerosene	-	Laguna
M37	Bofedal Pajablanca	1.213	

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 trece (13) 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	7.09	58.7	6.42	12	0.99
M9C	Tanque #2 ACD Chamcas	7.25	57.6	6.81	11.4	0.89
M9D	Tanque #3 ACD Chamcas	**4.94**	13.8	7.48	11.5	0.71
PIA-1	Caja de reunión del Proyecto PIASAA	7.62	385	6.54	13.1	0.67
S12	Guagayoc, tanque de ACD	7.61	207.3	6.54	12.9	3.45
S12B	Guagayoc, tanque de ACD	7.35	56.6	6.79	12.4	1.22
S22	ACD en la escuela de YB Alta	**6.37**	136.8	8.62	12.1	0.61
S22C	Nuevo tanque ACD YB Alta	7.63	211.9	7.52	11.9	0.58
S23	ACD en El Porvenir de YB	7.56	281	7.13	9.8	0.76
S24T	Nuevo tanque de ACD en San Juan YB	7.72	380	7.21	10.4	0.49
S30A	Tanque de ACD de Sogorón Alto	**4.14**	54.1	6.05	13.4	0.37
S32A	Tanque de ACD en Rodacocha	**6.08**	12.14	6.08	13	0.55
S34	Tanque de ACD en El Pedregal	**4.68**	1.71	6.92	12.8	0.21

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)

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4-1, el pH varió entre un valor mínimo de 4.14 y un valor máximo de 7.72 (en las estaciones S30A y S24T, respectivamente). Las estaciones S30A, M9D, S22, S32A, y S34, con valores de pH de 4.14, 4.94, 6.37, 6.08 y 4.68, 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 trece (13) puntos muestreados relacionados a la categoría 1 del ECA, varían en un rango entre 6.05 y 8.62 mg/l, con un valor promedio de 6.93 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

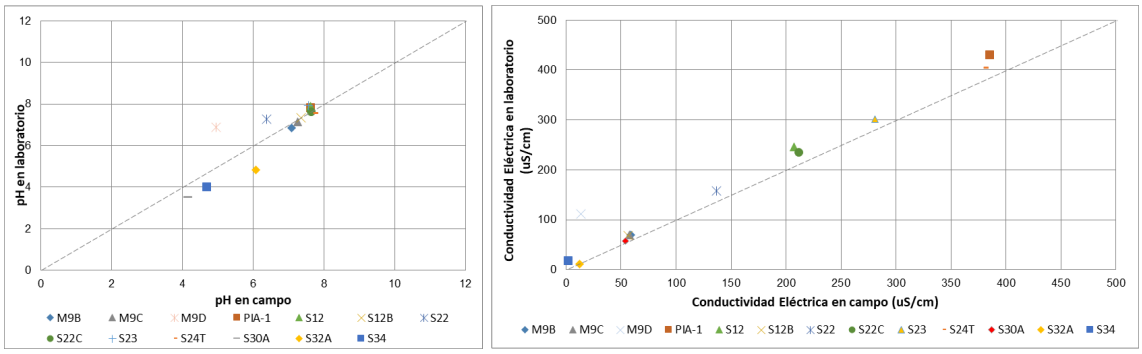
Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	13	2	<LD	1.6	NA	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	13	9	<LD	1.3	0.4	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	13	11	<LD	232.3	83.3	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	13	13	1.1	576.7	107.2	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	13	13	11.6	430	167.82	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	13	13	8	260	101.9	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	u.e.	13	13	**3.54**	7.92	6.67	3*
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	13	6	<LD	0.017	NA	-
Fósforo Total	mg P/L	13	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	13	2	<LD	0.022	NA	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	13	0	<LD	<LD	NA	-
Aceites y Grasas	mg/L	13	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro total	mg/L	13	0	<LD	<LD	NA	-
Fenoles	mg/L	13	0	<LD	<LD	NA	-
Turbidez	NTU	13	0	0.21	3.45	0.88	-
Conductividad (campo)	uS/cm	13	13	1.71	385	142.82	-
Temperatura	°C	13	13	9.8	13.4	12.05	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	u,e,	13	13	**4.14**	7.72	6.62	5
Oxígeno Disuelto	mg/L	13	13	6.05	8.62	6.93	-

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, demanda química de oxígeno, aceites y grasas, cianuro total, fenoles y turbidez 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.

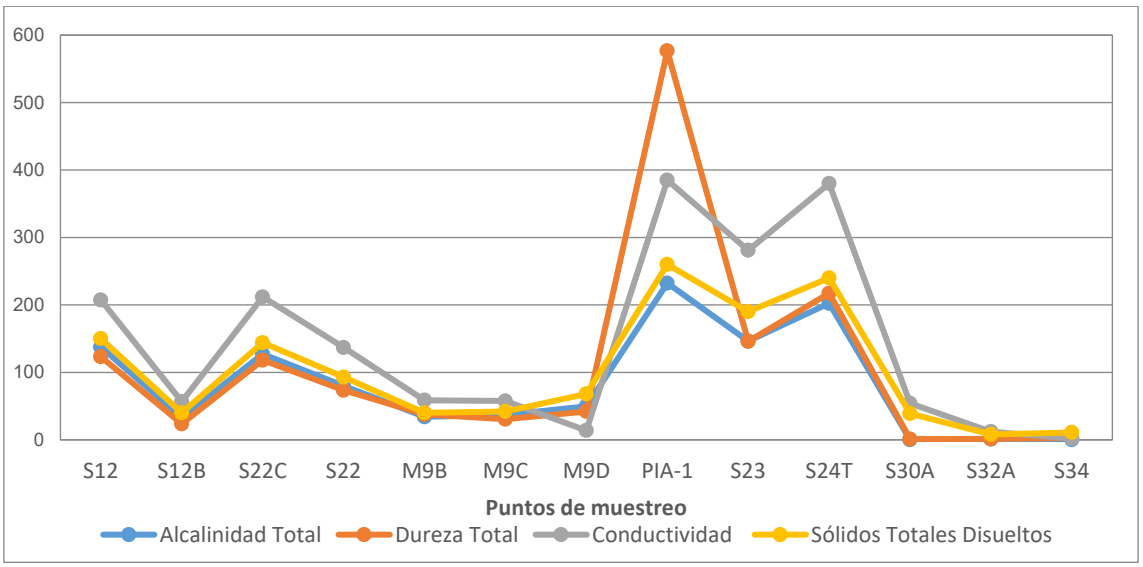
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 1.71 y 385 µS/cm; mientras que, los resultados de laboratorio varían entre 11.6 y 430 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.14 y 7.72 u.e., mientras que los resultados de laboratorio indican valores entre 3.54 y 7.92 u.e. En las estaciones S30A y S34, se registraron valores de pH de laboratorio más ácidos en comparación con los resultados obtenidos en campo. Esto estaría relacionado con 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



Por otro lado, 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 8 y 260 mg/L, con un valor promedio de 101.9 mg/L, evidenciando que a mayor concentración de sólidos totales disueltos 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 33.1 y 232.3 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 de dureza total expresada en miligramos de carbonato de calcio por litro (CaCO3/L) inferiores a 60 mg/L, 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, S12B, S30A, S32A y S34) a muy dura (PIA.1 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	13	8	<LD	**1.014**	0.133	1
*Antimonio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	13	6	<LD	**0.51713**	NA	1
*Bario Total	13	12	<LD	0.0292	0.008	-
*Berilio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Bismuto Total	13	2	<LD	0.00015	NA	-
*Boro Total	13	1	<LD	0.041	NA	-
*Cadmio Total	13	6	<LD	0.00084	NA	-
Calcio Total	13	13	0.164	304.908	52.074	-
Cerio Total	13	2	<LD	0.00027	NA	-
Cesio Total	13	1	<LD	0.0003	NA	-
Cobalto Total	13	7	<LD	0.00167	0.00025	-
*Cobre Total	13	8	<LD	0.00729	0.00170	-
*Cromo Total	13	2	<LD	0.0028	NA	-
Estaño Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	13	13	0.0035	0.2358	0.078	-
Fósforo Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Galio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Germanio Total	13	1	<LD	0.0008	NA	-
Hafnio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	13	13	0.0084	**1.3154**	0.2766	4
Lantano Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Litio Total	13	1	<LD	0.0014	NA	-
Lutecio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Magnesio Total	13	13	0.112	5.728	2.106	-
*Manganeso Total	13	13	0.00086	0.05292	0.00901	-

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Mercurio Total	13	6	<LD	0.0009	NA	-
*Molibdeno Total	13	4	<LD	0.00104	NA	-
Niobio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Niquel Total	13	1	<LD	0.0014	NA	-
Plata Total	13	5	<LD	0.000665	NA	-
*Plomo Total	13	3	<LD	0.0074	NA	-
Potasio Total	13	11	<LD	0.746	0.336	-
Rubidio Total	13	5	<LD	0.0043	NA	-
*Selenio Total	13	5	<LD	0.0352	NA	-
Silice Total	13	13	1.49	11.04	4.85	-
Silicio Total	13	13	0.7	5.16	2.267	-
Sodio Total	13	13	0.361	4.721	1.874	-
Talio Total	13	1	<LD	0.0001	NA	-
Tantalio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Teluro Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Thorio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Titanio Total	13	3	<LD	0.0046	NA	-
*Uranio Total	13	3	<LD	0.00018	NA	-
Vanadio Total	13	1	<LD	0.002	NA	-
Wolframio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Zinc Total	13	13	0.0032	0.1924	0.0245	-
Zirconio Total	13	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 y berilio, no estuvieron presentes en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como boro, cadmio, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y uranio, 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

El aluminio total estuvo presente en ocho de las trece (13) muestras analizadas, en las muestras restantes se reportó concentraciones por debajo del límite de detección (<LD). Según los resultados obtenidos por el laboratorio, se tuvo una concentración promedio de 0.133 mg/L, entre un valor mínimo de <LD (<0.003 mg/L) y un máximo de 1.014 mg/L (estación S30A). Este último valor mencionado, en S30A, superaría el valor de referencia de 0.9 mg/L indicados en el ECA de agua, y estaría asociado a las propias características geológicas de la zona. Todas las demás estaciones muestreadas cumplen con el estándar indicado en la norma.

Arsénico Total

El arsénico total fue detectado en seis de las trece (13) muestras analizadas, variando desde un valor mínimo de <LD (<0.003 mg/L) y un máximo de 0.51713 mg/L (estación S12B). Las concentraciones halladas en PIA-1 (0.22608 mg/L) y S12B (0.51713 mg/L) superarían el valor de referencia indicado en los ECA de agua (0.01 mg/L), sin embargo, estas trazas de metal están asociadas a las propias características geológicas de la zona y la mineralización del lugar. Todas las demás estaciones muestreadas cumplen con el estándar indicado en la norma.

Bario Total

El bario total estuvo presente en doce de las trece (13) muestras analizadas, en la estación S23 se reportó un valor por debajo del límite de detección (<LD). Según lo resultados obtenidos, se tuvo una concentración promedio de 0.008 mg/L, entre un valor mínimo de <LD (<0.0003 mg/L) y un máximo de 0.0292 mg/L (estación PIA-1). 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 los 13 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 0.2766 mg/L, variando entre un mínimo de 0.0084 mg/L (estación S34) y un máximo de 1.3154 mg/L (estación S12B). En los puntos PIA-1, S12, S12B y S30A se registraron concentraciones de 0.6865 mg/L, 0.9156 mg/L, 1.3154 mg/L y 0.3782 mg/L respectivamente, los cuales superaron el valor de referencia indicado en el ECA de agua, el cual es de 0.3 mg/L para todas las categorías desarrolladas en el presente informe. Los nueve puntos restantes estuvieron muy por debajo del valor indicado en la norma.

Manganeso Total

Se detectaron concentraciones de manganeso total en las trece muestras analizadas; dichas concentraciones variaron en un rango entre 0.00086 mg/L (estación S22C) y 0.05292 mg/L (estación S30A), con un valor promedio de 0.00901 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 los 13 puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. Las muestras analizadas presentaron en promedio una concentración de 0.0245 mg/L de zinc total, con valores que se encuentran en el rango entre 0.0032 mg/L (estación S23) y 0.1924 mg/L (estación S30A), 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

No se detectaron concentraciones de coliformes fecales, ya que los informes indican registros <LD (<1.8 NMP/100 mL), a excepción de un valor de 4.5 NMP/100 mL en la estación PIA-1, sin embargo, este valor es menor y por lo tanto, todos los registros cumplen los valores establecidos en el ECA de agua (20 NMP/100 mL).

Los valores de coliformes totales analizados variaron en un rango de <LD (1.8 NMP/100 mL) en la estación M9D y 23 NMP/100 mL (estación PIA-1); 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

No se detectaron concentraciones de Escherichia coli, ya que los informes indican registros <LD (<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 M9B, M9C y PIA-1, en proporciones de 8,13 y 56 organismos/L respectivamente.

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 y otros. 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, guardia duodenalis y quistes y ooquistes de protozoarios patógenos, entre otros. 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.

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	8.08	62.5	7.06	11	0.93
M2	Qda. Kerosene	**4.37**	28.2	6.36	11.8	1.29
M17	Qda. Hierbabuena	**8.43**	286	7.83	11.1	10.2
M21	Río Grande	8.27	309	7.6	12.1	3.74
M21B	Qda. Yanacocha	7.53	47.3	7.75	12.9	23.7

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

Según los resultados obtenidos, las aguas analizadas presentan un pH que varía entre 4.37 y 8.27 (estaciones M2 y M17 respectivamente). En base a la categoría en mención, la estación M2 y M17 incumplirían los valores de referencia indicados en la norma. Es preciso señalar que el punto localizado en la Quebrada Kerosene se ubica alrededor de la zona mineralizada, lo que explicaría el bajo valor de pH. Por el contrario, de acuerdo con evaluaciones previas, se sabe que las aguas de Río Grande son de características bicarbonatadas cálcicas, lo que guarda relación con la ligera alcalinidad de estas aguas que genera que el punto M17 supere ligeramente la Categoría 3-D2 del ECA de agua, y a su vez, cumpla con las categorías 3-D1 y 4-E2.

Los valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo relacionados con las categorías 3 y 4 del ECA de Agua, varían entre 6.36 y 7.83 mg/l, con un valor promedio de 7.32 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	18.8	7.74	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	5	5	0.7	14.2	4.16	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	5	4	<LD	178.5	76.7	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	5	5	33.1	338	162.6	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	5	23	200	97.6	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	5	2	<LD	8	NA	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	5	5	**4.35**	8.35	7.134	1*
Amoníaco	mg NH3/L	5	3	<LD	0.015	0.013	-
Fósforo Total	mg P/L	5	1	<LD	0.032	NA	-

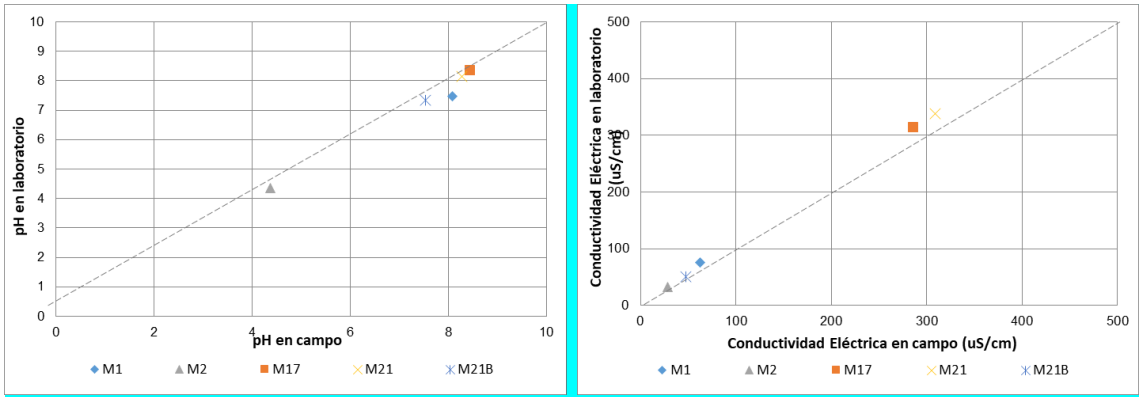
Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Sulfuro	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Aceites y Grasas	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro libre	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Fenoles	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cianuro WAD	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Turbidez	NTU	5	5	0.93	23.7	8.0	-
Conductividad (campo)	uS/cm	5	5	28.2	309	146.6	-
Temperatura	°C	5	5	11	12.9	11.8	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	5	5	**4.37**	**8.43**	7.34	2
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	5	6.36	7.83	7.32	-

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 3 y 4)
* 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 y química de oxígeno, detergentes, aceites y grasas, cianuro libre, 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.

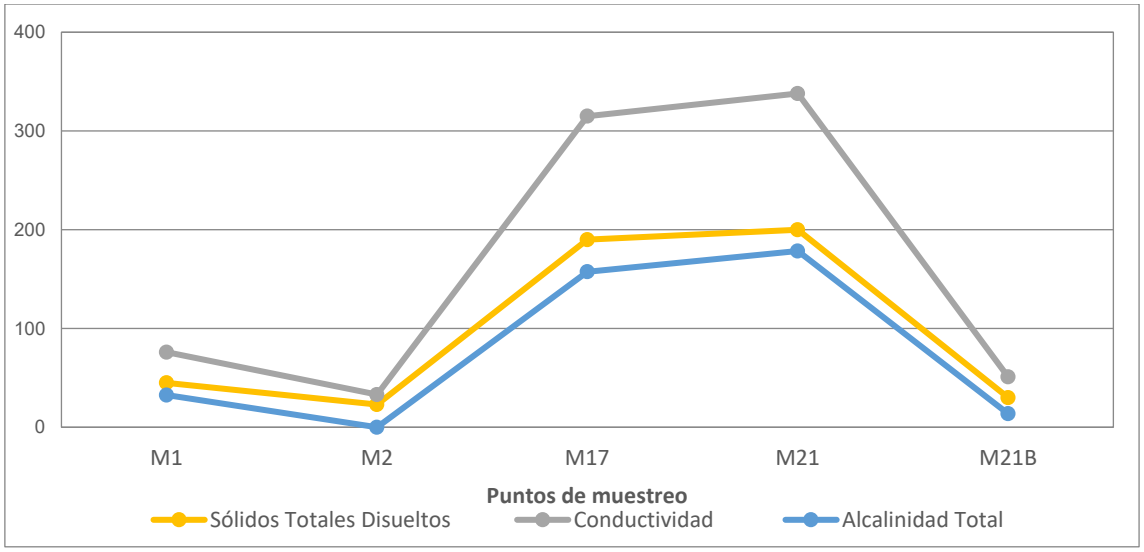
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 28.2 y 309 µS/cm, mientras que, los resultados de laboratorio varían entre 33.1 y 338 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.37 y 8.43 u.e., en tanto, los resultados de laboratorio indican valores entre 4.35 y 8.35 u.e. En la estación M2 se registró un valor de pH de campo ligeramente más ácido en comparación al resultado obtenidos en laboratorio, 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 M21 (zinc).

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	0.04	0.532	0.211	-
*Antimonio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	5	4	<LD	0.00225	0.00126	-
*Bario Total	5	5	0.009	0.0241	0.0154	-
*Berilio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Bismuto Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Boro Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Cadmio Total	5	3	<LD	0.00032	0.00018	-
*Cadmio Disuelto	5	0	<LD	<LD	NA	-
Calcio Total	5	5	3.596	65.881	34.568	-
Cerio Total	5	2	<LD	0.00051	NA	-
Cesio Total	5	1	<LD	0.0003	NA	-
*Cobalto Total	5	4	<LD	0.00196	0.00069	-
*Cobre Total	5	4	<LD	0.08519	0.02024	-
*Cromo Total	5	1	<LD	0.0048	NA	-
Estaño Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	5	5	0.0036	0.2661	0.1139	-
Fósforo Total	5	2	<LD	0.187	NA	-
Galio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Germanio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Hafnio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	5	5	0.078	1.1278	0.4124	-
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	0.369	4.41	2.087	-
*Manganeso Total	5	5	0.01165	0.06737	0.03646	-
*Mercurio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Molibdeno Total	5	2	<LD	0.00052	NA	-
Niobio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Níquel Total	5	2	<LD	0.0037	NA	-
Plata Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Plomo Total	5	2	<LD	0.0025	NA	-
Potasio Total	5	5	0.2353	1.0606	0.6407	-
Rubidio Total	5	5	0.0012	0.0035	0.0021	-
*Selenio Total	5	1	<LD	0.0024	NA	-
Silice Total	5	5	0.85	10.57	5.55	-
Silicio Total	5	5	0.4	4.94	2.59	-
Sodio Total	5	5	0.27	2.443	1.3838	-
*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	1	<LD	0.0032	NA	-
Uranio Total	5	2	<LD	0.000245	NA	-
Vanadio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Wolframio Total	5	1	<LD	0.0011	NA	-
Yterbio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Zinc Total	5	5	0.0069	**0.1212**	0.05518	1
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 4-6, los metales totales de interés ambiental considerados en el D.S. N° 004-2017-MINAM, tales como antimonio, berilio, boro, cadmio disuelto, litio, mercurio y talio no fueron detectados en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como cromo, níquel, plomo y selenio 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 0.211 mg/L; variaron entre un valor mínimo de 0.04 mg/L (estación M1) y un valor máximo de 0.532 mg/L (estación M2). 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 0.009 mg/L (estación M2) y 0.0241 mg/L (estación M21), con un valor promedio de 0.0154 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.

Cobalto Total

El cobalto fue detectado en cuatro (4) puntos de muestreo relacionados a las categorías 3 y 4 del ECA, con un valor promedio de 0.00069 mg/L, en un rango que va desde un valor mínimo de <LD (estación M1) y un máximo de 0.00196 mg/L (estación M2). Todas estas concentraciones halladas en las muestras evaluadas cumplen con los valores de referencia indicados en la categoría 3 del ECA de agua.

Cobre Total

Se detectó la presencia de cobre en cuatro de las muestras analizadas. Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron una concentración promedio de cobre total de 0.02024 mg/L, con un valor mínimo de <0.00009 mg/L (<LD) en la estación M21, y un valor máximo de 0.08519 mg/L en la estación M2. Todas estas concentraciones halladas en las muestras evaluadas cumplen con los valores de referencia indicados en la categoría 3 del ECA de agua.

Hierro Total

Se obtuvo una concentración promedio de 0.4124 mg/L de hierro total, con valores que varían entre 0.078 mg/L (estación M1) y 1.1278 mg/L (estación M2). 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 0.369 mg/L (estación M2) y 4.41 mg/L (estación M17). 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 0.01165 mg/L (estación M1) y 0.06737 mg/L (estación M21B). 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.

Zinc Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron concentraciones que varían entre 0.0069 mg/L (estación M1) y 0.1212 mg/L en la estación M21. Este último punto mencionado, excedería ligeramente la Categoría 4-E2 del ECA de agua (0.12 mg/L), pero cumpliría la categoría 3 de la norma. Para todos los demás 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 7.8 NMP/100 mL (estación M21B). Para el caso de los coliformes totales, las concentraciones variaron entre 4 NMP/100 mL y 49 NMP/100 mL (estaciones M2 y M21B respectivamente). Para todos los casos se cumple con los niveles de referencia indicados en las categorías 3 y 4 del ECA de agua

Se analizó 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	**4.09**	46.90	6.34	12.90	0.69

Nota:
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)

El punto de muestreo M22, ubicado en la Laguna Mamacocha, presentó un valor de 4.09 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	<LD	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	0.4	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	<LD	-
Conductividad	uS/cm	45.4	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	31	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	<LD	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<LD	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	**3.72**	Si*
Amoníaco	mg NH3/L	<LD	-

Parámetro	Unidad	Punto M22	Excede al ECA
Nitrógeno Total	mg N/L	**0.53**	Si
Fósforo Total	mg P/L	<LD	-
Sulfuro	mg/L	<LD	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<LD	-
Aceites y Grasas	mg/L	<LD	-
Cianuro libre	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, fósforo total, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, cianuro libre 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 buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo (46.90 uS/cm) y los correspondientes resultados de laboratorio (45.4 uS/cm). 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	0.318	-
*Antimonio Total	<LD	-
*Arsénico Total	<LD	-
*Bario Total	0.0063	-
Berilio Total	<LD	-
Bismuto Total	<LD	-
Boro Total	<LD	-
Cadmio Total	<LD	-
Cadmio Disuelto	<LD	-
Calcio Total	0.170	-
Cerio Total	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M22	Excede al ECA
Cesio Total	<LD	-
Cobalto Total	0.00104	-
*Cobre Total	0.00227	-
Cromo Total	<LD	-
Estaño Total	<LD	-
Estroncio Total	0.0110	-
Fósforo Total	<LD	-
Galio Total	<LD	-
Germanio Total	<LD	-
Hafnio Total	<LD	-
Hierro Total	0.3446	-
Lantano Total	<LD	-
Litio Total	0.0013	-
Lutecio Total	<LD	-
Magnesio Total	0.528	-
Manganeso Total	0.03491	-
*Mercurio Total	<LD	-
Molibdeno Total	<LD	-
Niobio Total	<LD	-
*Niquel Total	0.0009	-
Plata Total	<LD	-
*Plomo Total	<LD	-
Potasio Total	<LD	-
Rubidio Total	0.0016	-
*Selenio Total	<LD	-
Silice Total	0.35	-
Silicio Total	0.16	-
Sodio Total	0.551	-
*Talio Total	<LD	-
Tantalio Total	<LD	-
Teluro Total	<LD	-
Thorio Total	<LD	-
Titanio Total	<LD	-
Uranio Total	<LD	-
Vanadio Total	<LD	-
Wolframio Total	<LD	-
Yterbio Total	<LD	-
*Zinc Total	0.0122	-
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, arsénico, mercurio, plomo, selenio y talio no fueron detectados en las aguas de la Laguna Mamacocha. Los metales detectados tales como bario, cobre, níquel y zinc se encontraron en bajas concentraciones y para todos los casos cumplieron los valores de referencia indicados 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, sin embargo, no se registraron concentraciones detectables. De manera similar, se realizó el análisis de coliformes totales, donde se reportó una concentración de 7.8 NMP/100 mL, sin embargo, se cumpliría con el estándar 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 (264 mg/L) y una conductividad eléctrica de 432 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.89) y una baja concentración de oxígeno disuelto (2.26 mg/L).

Los análisis de laboratorio realizados indican que estas aguas contienen trazas de metales como aluminio, arsénico, bario, boro, cadmio, calcio, cobalto, cromo, estroncio, hierro, litio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, potasio, rubidio, selenio, sílice, silicio, sodio 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 20 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				Organismo de Vida Libre, Algas	
M9C	1-A1				Organismo de Vida Libre, Algas	
M9D	1-A1	X				
PIA1	1-A1				Organismo de Vida Libre, Algas	Hierro Total (Fe) Arsénico Total (As)

Estación	Categoría Aplicable*	Parámetros que exceden los ECA de Referencia				
		In-Situ		Fisicoquímicos	Microbiológicos	Metales Totales
		pH**	OD			
S12	1-A1					Hierro Total (Fe)
S12B	1-A1					Arsénico Total (As) Hierro Total (Fe)
S22	1-A1	X				
S22C	1-A1					
S23	1-A1					
S24T	1-A1					
S30A	1-A1	X				Aluminio Total (Al) Hierro Total (Fe)
S32A	1-A1	X				
S34	1-A1	X				
M1	3 y 4					
M2	3 y 4	X				
M17	3 y 4	X				
M21	3 y 4					Zinc Total (Zn)
M21B	3 y 4					
M22	4-E1	X		Nitrógeno Total		
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}	$N\text{-}NO_3^-$
M9B	0.734	0.104	0.007	0.067	0.003	0.002	0.568	0.001	0.002	0.000	0.032	0.005
M9C	0.518	0.107	0.005	0.114	0.000	0.001	0.618	0.002	0.002	0.000	0.040	0.001
M9D	0.274	0.036	0.000	0.010	0.005	0.000	0.828	0.000	0.002	0.000	0.191	0.002
PIA-1	0.000	0.384	0.000	0.000	0.000	0.007	3.859	0.025	0.058	0.000	0.437	0.085
S12	2.203	0.208	0.015	0.122	0.000	0.001	2.286	0.014	0.011	0.000	0.088	0.020

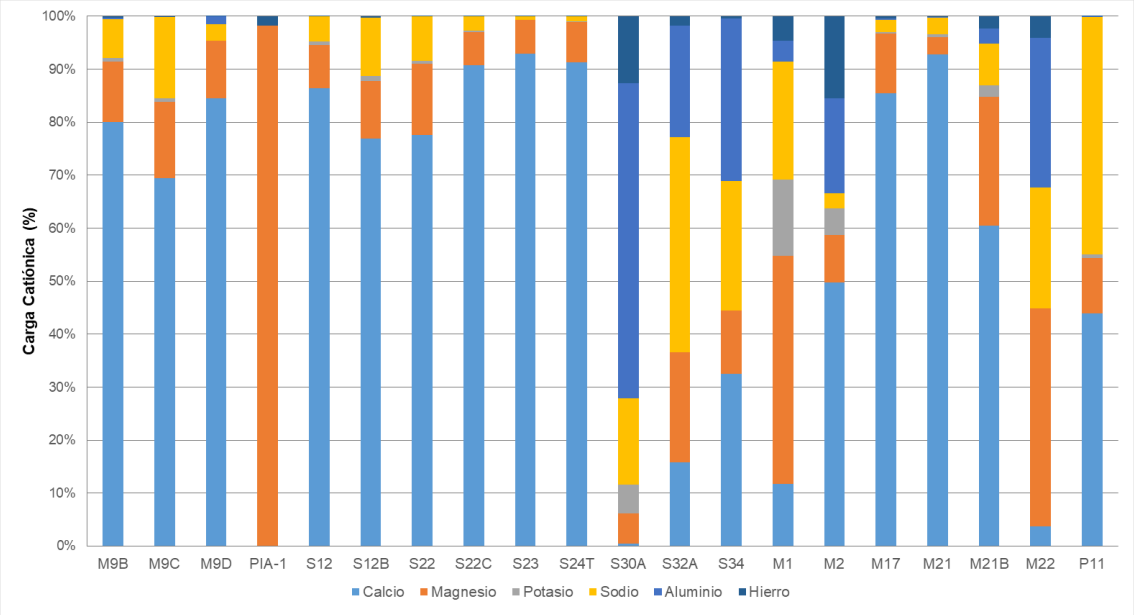
Punto	Cationes (meq/L)						Aniones (meq/L)					
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+3}	Fe^{+3}	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	$N\text{-}NO_3^-$
S12B	0.405	0.057	0.005	0.058	0.000	0.001	0.551	0.002	0.002	0.000	0.090	0.120
S22	1.379	0.238	0.010	0.149	0.000	0.001	1.333	0.000	0.005	0.000	0.164	0.041
S22C	2.282	0.156	0.006	0.070	0.000	0.000	2.115	0.014	0.031	0.000	0.136	0.023
S23	2.307	0.158	0.000	0.016	0.000	0.002	2.433	0.014	0.008	0.000	0.387	0.004
S24T	4.029	0.336	0.005	0.040	0.000	0.002	3.358	0.028	0.012	0.000	0.372	0.044
S30A	0.001	0.008	0.007	0.022	0.079	0.017	0.000	0.000	0.002	0.000	0.204	0.006
S32A	0.005	0.007	0.000	0.014	0.007	0.001	0.017	0.000	0.002	0.000	0.040	0.023
S34	0.018	0.007	0.000	0.013	0.017	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.031	0.020
M1	0.008	0.030	0.010	0.016	0.003	0.003	0.538	0.010	0.006	0.000	0.177	0.001
M2	0.135	0.024	0.014	0.008	0.049	0.042	0.000	0.000	0.004	0.000	0.118	0.002
M17	2.282	0.299	0.009	0.060	0.007	0.012	2.568	0.112	0.028	0.000	0.349	0.062
M21	2.938	0.104	0.015	0.099	0.006	0.005	2.930	0.088	0.021	0.000	0.188	0.008
M21 B	0.137	0.055	0.005	0.018	0.006	0.005	0.228	0.001	0.016	0.000	0.174	0.005
M22	0.003	0.028	0.000	0.015	0.019	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.164	0.003
P11	1.476	0.350	0.021	1.505	0.003	0.002	3.650	0.045	0.021	0.000	0.398	0.005

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.

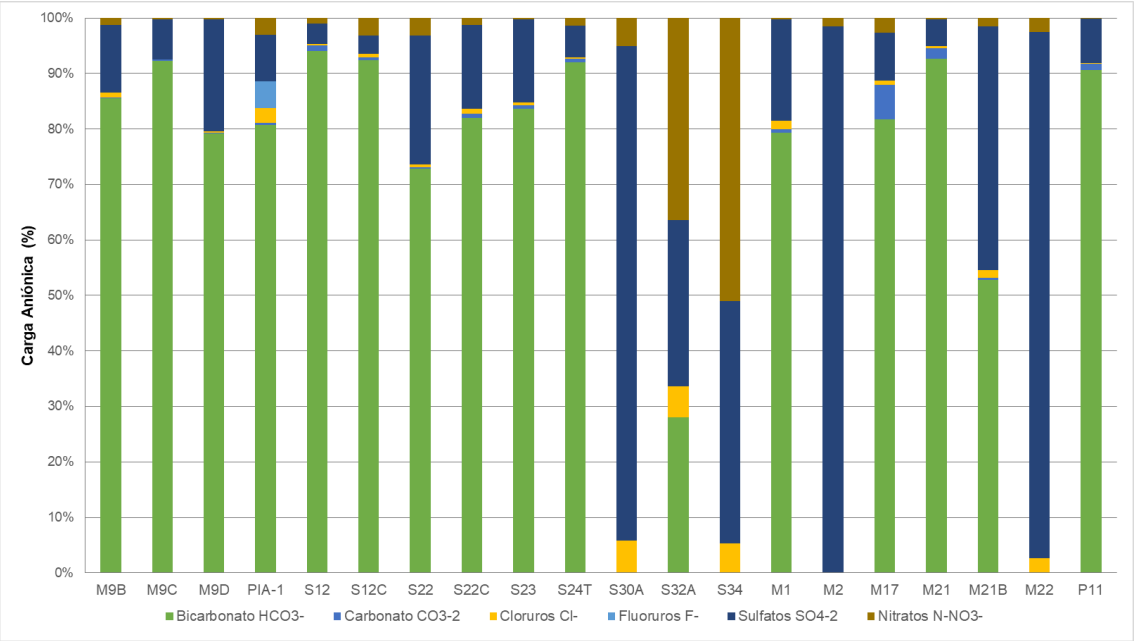
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-5, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona I corresponde al Calcio, primando en quince (15) de los veinte (20) puntos evaluados, variando desde el 50% hasta el 93% de la de la carga catiónica total (CCT). Las cinco (5) estaciones de muestreo restantes, presentan una carga catiónica total donde predominan cargas mixtas (calcio, magnesio, sodio y/o aluminio).

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 54% y 95%. De manera contraria, en las cuatro (4) estaciones restantes, el sulfato es el ion que prevalece sobre los demás, con una carga aniónica total que varía entre el 55% y 100%.

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
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
S12	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S12B	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S22	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S22C	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
S30A	Al	SO_4	Al-SO_4	Sulfatada Alumínica
S32A	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
S34	Na - Al	SO_4	Na-Al-SO_4	Sulfatada Mixta

M1	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M2	Ca - Al - Fe	SO4	Ca- Al-Fe-SO_4	Sulfatada Mixta
M17	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M21	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M21B	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M22	Mg - Na - Al	SO_4	Mg-Na-Al-SO_4	Sulfatada Mixta
P11	Ca - Na	HCO_3	Ca-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 quince (15) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: PIA-1, S12, S22, S22C, S22, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (93 a 260 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (80 a 232.3 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (6.37 a 8.43). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (8 a 68 mg/L), baja alcalinidad (1 a 49.7 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (4.94 – 8.08). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

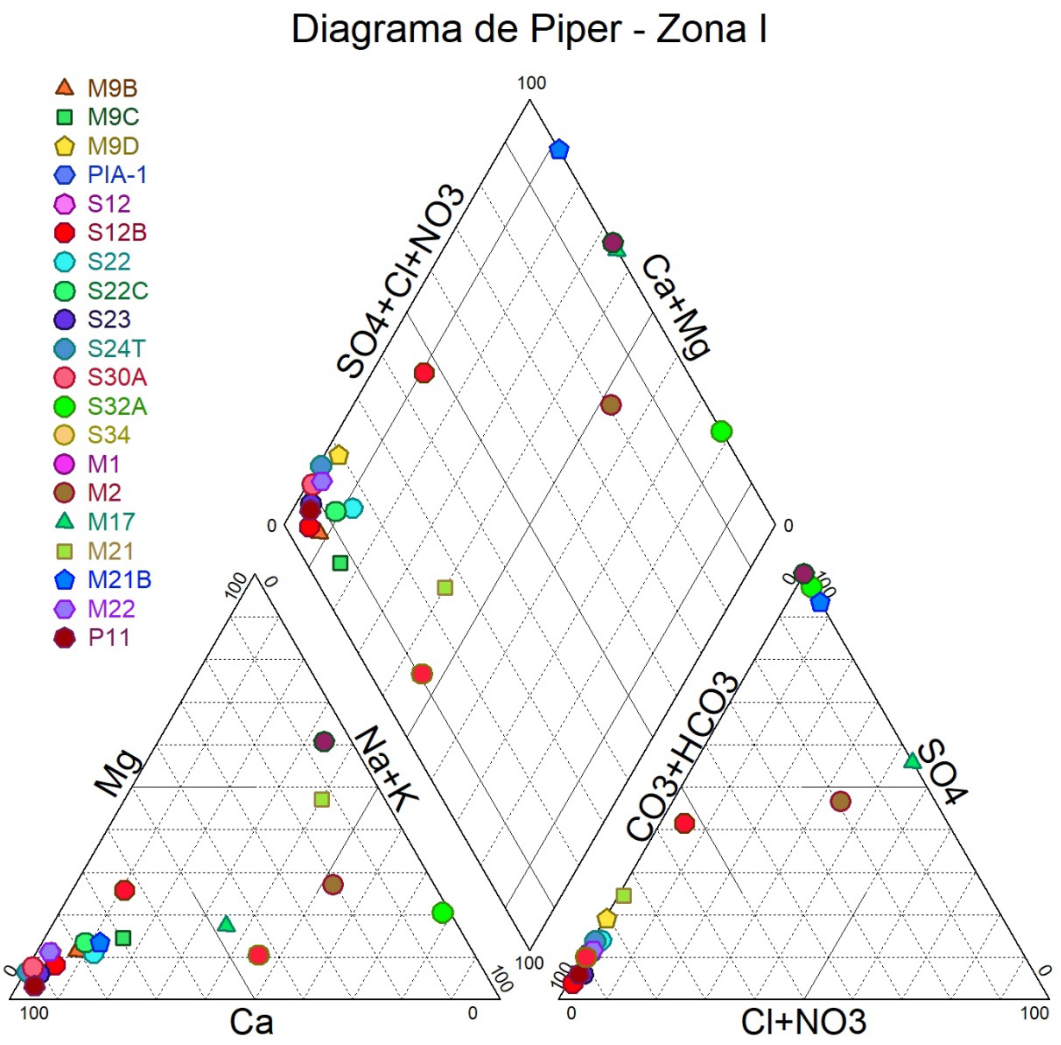
- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra S30A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (39 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (4.14). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Bicarbonatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra P11. Está caracterizada por presentar una alta concentración de STD (264 mg/L), una elevada alcalinidad (220.4 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.89). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio 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, aluminio, sodio, magnesio y hierro. Presentan un pH ácido (4.09 a 4.68), alcalinidad nula, baja concentración de STD (11 a 31 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<46.9 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

Para la evaluación de calidad de agua se considera el registro de parámetros de campo en veintidós (22) 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 once (11) 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	6.51	52.1	6.89	13.5	4.13
S2	Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA	7.11	194.0	**5.79**	16.2	0.40
S3	Manantial El Moro - Proyecto PIASAA	**5.85**	354.0	6.10	13.9	0.69
S4	Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA	7.93	445.0	7.33	13.8	0.80
S5	Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA	7.07	498.0	7.77	12.2	0.50
S6	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	Sin flujo				
S7	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	7.64	431.0	6.11	13.9	0.28
S8	Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA	6.99	462.0	7.81	13.0	0.40
S9	Manantial Sin Nombre	7.54	340.0	6.62	13.8	0.23
S30C	Manantial S30C	**3.98**	47.2	**5.20**	12.5	1.05
S34B	Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal)	**4.34**	9.60	6.54	12.50	0.76
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**	**-**
S20A	Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez)	**6.30**	465.0	6.00	12.5	4.40
S20B	Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas)	6.80	474.0	6.70	12.1	1.40
S21A	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	Agua empozada				
S21B	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	7.22	340.0	**3.81**	13.2	2.00
S21C	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	**5.85**	41.7	6.29	13.9	1.80
S21D	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	**5.62**	38.0	6.59	12.8	2.10
S21E	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	**6.12**	52.7	6.90	12.7	1.50
S34A	Captación de agua para riego en El Pedregal	**4.17**	15.20	6.45	12.80	0.50
M37	Bofedal Pajablanca	**5.41**	24.6	**4.14**	10.8	1.80
ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M5	Laguna Kerosene	**5.45**	10.4	7.20	11.0	2.30
M4	Laguna Cama de los Shingos	**4.52**	11.1	7.47	13.7	0.70

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 con 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

En los puntos S3, S30C y S34B, ubicados en el Proyecto PIASSA, Sorgón Alto y El Pedregal respectivamente, asociados a las captaciones de agua para consumo doméstico, se registraron valores de pH ácido que 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.

La conductividad eléctrica varió entre 9.60 y 498.0 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.23 y 4.13 NTU; para todos estos casos las aguas cumplieron el ECA. En relación con el oxígeno disuelto, los puntos de monitoreo S2 y S30C se encontraron por debajo de lo establecido en el ECA, estos valores estarían relacionados al posible estancamiento de las aguas, lo que genera un déficit de aireación y oxigenación; los demás puntos de monitoreo se encontraron dentro de los establecido en el ECA.

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 4.17 y 6.80. El pH en los puntos S20A, S21C, S21D, S21E, 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 15.20 y 474.0 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.50 y 4.40 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 5.45 y 4.52 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 todos los parámetros se reportaron como menores al límite de detección lo que indicaría un adecuado aseguramiento de la calidad durante el muestreo.

Respecto a los resultados de la muestra de blanco viajero (BK-viajero), todos los parámetros se reportaron por debajo del límite de detección (<LD), a excepción de una traza de cloruro. Sin embargo, esta pequeña traza no sería relevante, por lo que indicaría una buena confiabilidad durante el 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

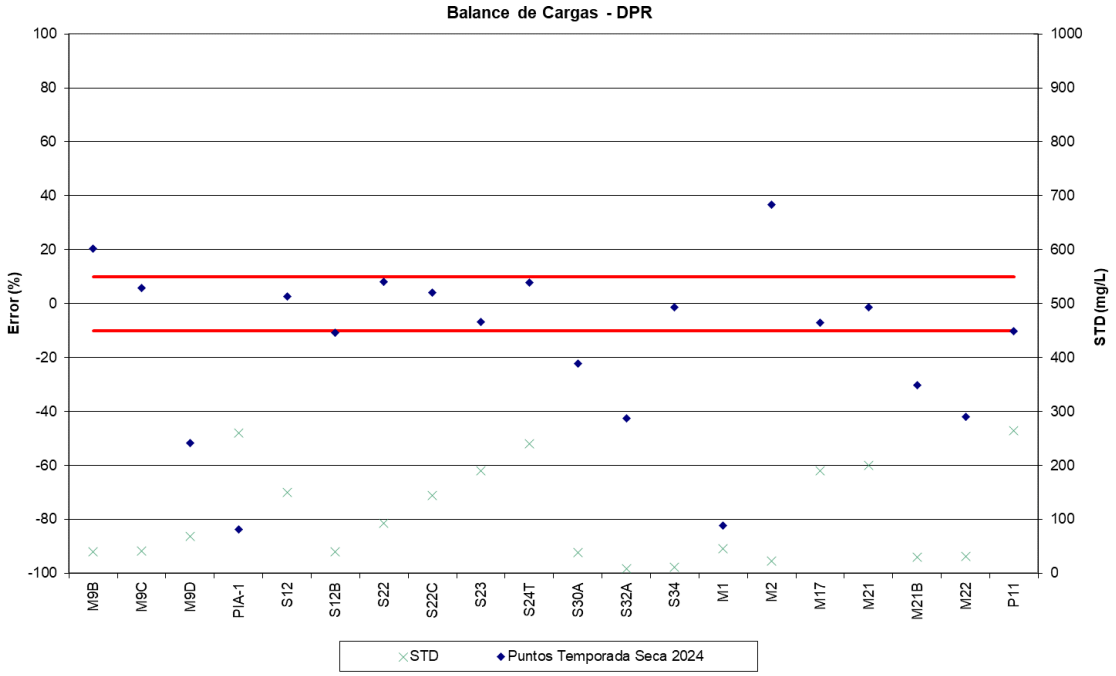
Σm_a: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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 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.

Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona I

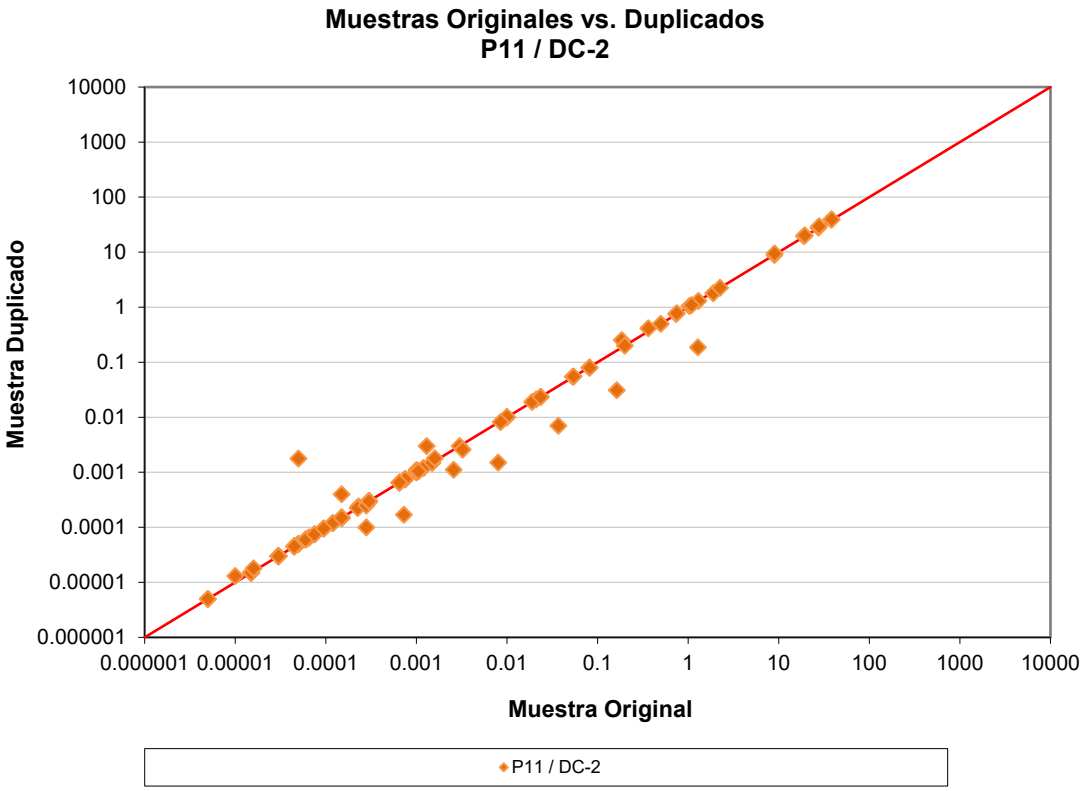


6.3 Análisis de duplicados

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.

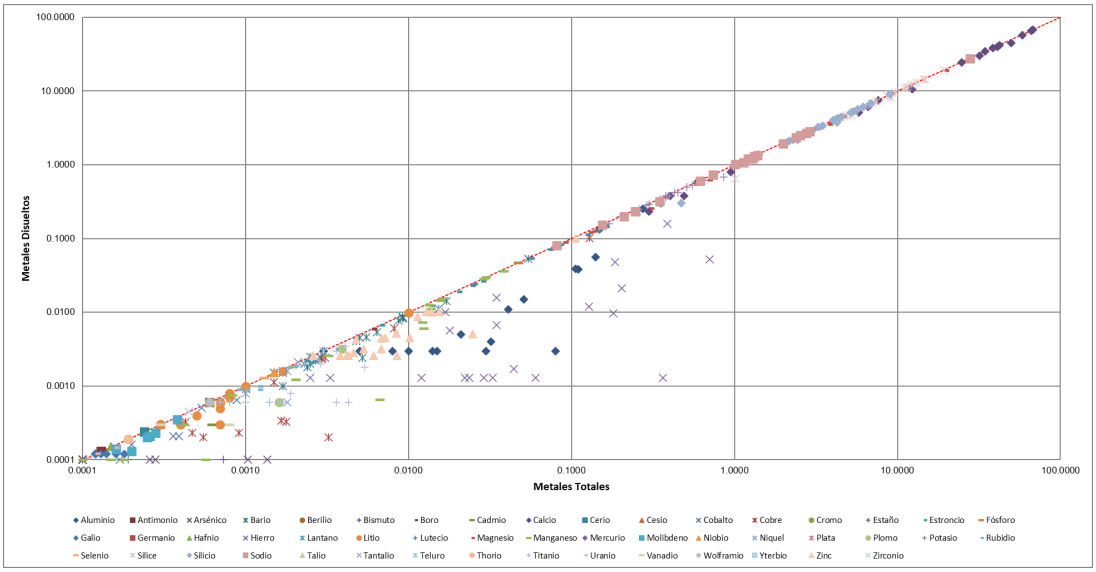
Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados



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 M9D, S22, S30A, 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.

Se presentaron excedencias en aluminio en el punto S30A; excedencias de arsénico en el punto S12B y PIA-1; y de hierro en las estaciones PIA-1, S12, S12B y S30A. Todos los demás parámetros en las demás estaciones cumplieron con los valores de referencia del ECA.

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones M9B, M9C y PIA-1, en proporciones de 8, 13 y 56 organismos/L respectivamente. La presencia de algas y otros organismos mencionados suele ocurrir en infraestructuras que almacenan agua, ya que, al estar estancada, la temperatura se eleva y puede producirse una proliferación de algas y otros. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques 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.

Con relación a los once (11) puntos donde solo se efectúa la evaluación de parámetros de campo, los valores de PH registrados en los puntos S3, S30C y S34B, ubicados en el Proyecto PIASSA, Sorgón Alto y El Pedregal respectivamente, fueron ácidos, y por tanto 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, el oxígeno disuelto presento valores por debajo del valor mínimo indicado en el ECA en las estaciones S2 y S30C, estos valores estarían relacionados al posible estancamiento de las aguas, lo que genera un déficit de aireación y oxigenación; los demás puntos de monitoreo se encontraron dentro de los establecido en el ECA para todos los parámetros.

- *Aguas Categoría 3:*

Se presentaron dos excedencias en pH en los puntos M2 y M17, donde se obtuvieron valores ácidos y alcalinos respectivamente, los cuales incumplirían el ECA de agua. No obstante, los valores de pH registrados en los puntos mencionados, localizados en la Quebrada Kerosene y la Quebrada Hierbabuena, guardarían relación a las propias características geológicas del lugar. Por otro lado, en el punto M21 (0.1212 mg/L), se registró una concentración de zinc total excedería ligeramente el valor de referencia para la categoría 4 de la norma (Conservación del ambiente acuático: Ríos), el cual estipula un límite de 0.12 mg/L. Esta excedencia, si bien es menor y puntual, guardaría relación a la mineralización existente en la zona adyacente al punto de muestreo.

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.

Con 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 S20A, S21C, S21D, S21E, S34A y M37, los cuales, por su ubicación y cercanía a la zona mineralizada, generan estos valores de acidez. Asimismo, los puntos S21B y M37 presentaron valores de oxígeno disuelto menores al valor mínimo recomendado en el ECA. Para todos los demás puntos de muestreo, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y turbidez, cumplen con los ECA.

- *Aguas Categoría 4:*

El punto M22 ubicado en la Laguna Mamacocha presentó un valor de 4.09 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.

- *Agua Subterránea:*

La muestra de agua subterránea analizada presentó una moderada a alta concentración de sólidos totales disueltos (264 mg/L) y una conductividad eléctrica de 432 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.89) y una baja concentración de oxígeno disuelto (2.26 mg/L)..

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 quince (15) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: PIA-1, S12, S22, S22C, S22, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (93 a 260 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (80 a 232.3 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (6.37 a 8.43). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (8 a 68 mg/L), baja alcalinidad (1 a 49.7 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (4.94 – 8.08). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra S30A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (39 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (4.14). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el anión predominante corresponde al sulfato.

- Aguas Bicarbonatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra P11. Está caracterizada por presentar una alta concentración de STD (264 mg/L), una elevada alcalinidad (220.4 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.89). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio 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, aluminio, sodio, magnesio y hierro. Presentan un pH ácido (4.09 a 4.68), alcalinidad nula, baja concentración de STD (11 a 31 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<46.9 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.