PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA TEMPORADA SECA 2022

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, JULIO 2022

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 5
1.1 Introducción 5
1.2 Participación de la población local 5
2 METODOLOGÍA 7
2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo 7
2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra 7
2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo 8
2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales 9
2.3 Recolección de datos de campo 15
2.3.1 Toma de muestras 15
2.3.2 Medición de caudales 15
2.4 Análisis de laboratorio 16
2.5 Criterios para el análisis de resultados 16
2.6 Control de calidad 16
3 MEDICIÓN DE CAUDALES 18
4 RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA 20
4.1 Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1 20
4.1.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 20
4.1.2 Parámetros fisicoquímicos 21
4.1.3 Metales de interés ambiental 23
4.1.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 25
4.2 Aguas superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E2 26
4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*) 26
4.2.2 Parámetros fisicoquímicos 27
4.2.3 Metales de interés ambiental 29
4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos 33
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 37
Tabla 4-11 Concentración de Iones Principales en la Zona I 38
Tabla 4-12 Resumen de Tipos de Agua en la Zona I del Proyecto 40
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 39
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 2022, y fueron desarrollados entre el 22 y 30 junio del 2022. 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 El Porvenir, el día 22 de junio participó el señor Juan Novoa Cortez, presidente de la JASS de El Porvenir.
- En los puntos de monitoreo de Yerba Buena Alta, el 25 de junio, participó el señor Cristobal Huamán, teniente gobernador de Yerba Buena Alta.
- En los puntos de monitoreo S12 y S12A en Guagayoc, el día 25 de junio participó el señor Teófilo Aguilar, presidente de la JASS de Guagayoc.
- En los puntos de monitoreo de El Pedregal, el día 26 de junio, participó el señor William Huaman Soto, presidente de la JASS de El Pedregal.
- En los puntos de monitoreo de Rodacocha, el día 26 de junio, participó el señor Epifanio Alvarado Villanueva, presidente de la JASS de Rodacocha.

Además, participaron los monitores ambientales de los caseríos:

- Anunciación Huamán Chávez - Caserío El Valle, quien participó en el monitoreo de agua el día 27 y 30 de junio.

- Carmen Salazar Tacilla, quien participó en el monitoreo de agua el día 25 y 28 de junio.
- Eliseo Medina Villanueva, quien participó en el monitoreo de agua el día 23 y 27 de junio.
- Jaime Llanos Salazar, quien participó en el monitoreo de agua el día 28 de junio.
- Nando Miranda Miranda, quien participó en el monitoreo de agua el día 23 de junio.
- Olger Tacilla Alvarado, quien participó en el monitoreo de agua el día 25 y 26 de junio.
- Manuel Salazar Llanos, quien participó en el monitoreo de agua los días 26 y 30 de junio

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

2 Metodología

2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Como parte de la campaña de monitoreo, en la Zona I, se cuentan con 44 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 veinticuatro (24) puntos restantes, únicamente se registran parámetros de campo.

2.1.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

En la Tabla 2-1 se presenta la ubicación y descripción de los veinte (20) puntos en donde se recolectaron muestras para ser enviadas y analizadas en el laboratorio; asimismo, en estos lugares se efectuaron los registros de los parámetros de campo correspondientes. Por otro lado, en el Anexo D, se presenta las fichas de identificación de los puntos de monitoreo en mención.

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

Código	Coordenadas UTM WGS84 Zona 17S		Altitud	Descripción	Categoría ECA	Efectuado
	Norte	Este				
M9B	9 225 738	794 068	3 735	Tanque #1 ACD Chamcas	1-A1	Si
M9C	9 225 358	794 630	3 790	Tanque #2 ACD Chamcas	1-A1	Si
M9D	9 225 906	795 579	3 707	Tanque #3 ACD Chamcas	1-A1	Si
PIA1	9 225 583	793 377	3 554	Caja de reunión del Proyecto PIASAA	1-A1	Si
S12	9 227 024	793 481	3 930	Guagayoc, tanque de ACD	1-A1	Si
S12A*	9 226 992	793 421	3 903	Guagayoc, tanque de ACD	1-A1	Si(1)
S22	9 227 677	792 958	3 833	ACD en la escuela de YB Alta	1-A1	Si(1)
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(1)
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(1)
M1	9 225 861	793 714	3 596	Qda. Chamcas	3 y 4	Si
M17	9 226 450	790 736	3 512	Qda. Hierbabuena	3 y 4	Si
M2	9 226 800	794 581	3 768	Qda. Kerosene	3 y 4	Si
M21	9 222 394	791 571	3 257	Río Grande	3 y 4	Si
M21B	9 223 606	793 585	3 418	Qda. Yanacocha	3 y 4	Si
M22	9 226 652	796 527	3 756	Laguna Mamacocha	4-E1	Si(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.
* Nueva estación de monitoreo.
(1) Solo se efectuó el muestreo de calidad aguas, no se puedo realizar la medición de caudales porque el reservorio se encontraba cerrado.
(2) Corresponde a laguna, por tanto, no se mide caudal.

2.1.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

En la Tabla 2-2 se presenta la ubicación y descripción de los veinticuatro (24) puntos donde se 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	No(2)
S2	9 225 816	793 663	3 594	Manantial Puente Viejo (PIASAA)	1-A1	No(2)
S3	9 225 755	793 657	3 599	Manantial El Moro (PIASAA)	1-A1	No(2)
S4	9 225 701	793 545	3 593	Manantial La Peña Mala (PIASAA)	1-A1	No(2)
S5	9 225 714	793 472	3 593	Manantial La Chilca (PIASAA)	1-A1	No(2)
S6	9 225 615	793 387	3 558	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	1-A1	No(2)
S7	9 225 602	793 380	3 556	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	1-A1	No(2)
S8	9 226 125	793 414	3 692	Manantial El Derrumbe (PIASAA)	1-A1	No(2)
S9	9 225 693	793 470	3 586	Manantial sin nombre (Manantial Nuevo)	1-A1	No(2)
S30B	9 225 343	796 489	3 858	Captación ACD Sogorón Alto	1-A1	No(1)
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	Si
S34B	9 224 496	794 865	3 641	Captación de ACD El Pedregal	1-A1	Si
M37	9 227 270	794 005	3 913	Bofedal Pajablanca	3	Si
S20A	9 224 765	793 125	3 518	Manantial en terreno Sra. M. Chávez	3	Si
S20B	9 224 885	793 351	3 550	Manantial en terreno Sr. Genaro Ocas	3	Si(3)
S21A	9 224 627	794 318	3 627	Manantial en terreno Sr. Elías Palacio	3	Si
S21B	9 224 647	794 441	3 575	Manantial en terreno Sra. M. Lucano	3	Si
S21C	9 224 686	794 635	3 598	Manantial en terreno Sr. Emeregildo,	3	Si
S21D	9 224 761	794 645	3 626	Manantial en terreno Sr. Emeregildo,	3	Si
S21E	9 224 768	794 768	3 633	Manantial en terreno Sr. A. Cabrera	3	Si
S34A	9 224 771	795 311	3 693	Capt. agua para riego 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

Notas:
ACD = agua para consumo doméstico
(1) No se realizó la medición porque se encontraban sin flujo.
(2) No se realizó la medición porque hubo ausencia de la autoridad, por lo tanto, no hubo llaves para el ingreso.
(3) No se efectuó la medición de caudales debido a que estos tenían un flujo mínimo; solo se registraron parámetros de campo.

2.2 Parámetros evaluados y estándares ambientales

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

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

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

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

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

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

Tabla 2-3 Parámetros evaluados según su categoría

Parámetro	Tipo de muestra analizada				
	ECA Categoría 1-A1	ECA Categoría 3 y 4	ECA Categoría 4	Agua Subterránea	Muestras de Blanco
Aceites y Grasas	X	X	X	X	
Alcalinidad Total	X	X	X	X	
Amoniaco		X	X		
Bromuro, Br-	X	X	X	X	X
Cianuro Total	X				
Cianuro Wad		X		X	
Cianuro Libre		X	X		
Clorofila A			X		
Cloruros. Cl-	X	X	X	X	X
Color Verdadero	X	X	X	X	
Conductividad	X	X	X	X	
Cromo Hexavalente		X	X		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	X	X	X	X	
Demanda Química de Oxígeno	X	X		X	
Detergentes Aniónicos		X			
Dureza Total	X				

Parámetro	Tipo de muestra analizada				
	ECA Categoría 1-A1	ECA Categoría 3 y 4	ECA Categoría 4	Agua Subterránea	Muestras de Blanco
Fenoles	X	X	X	X	
Fluoruros. F-	X	X	X	X	X
Fósforo Total	X	X	X		
Fosfatos, PO4-3	X	X	X	X	X
Nitratos. NO3-	X	X	X	X	X
Nitritos. NO2-	X	X	X	X	X
Nitrógeno Amoniacal	X				
Nitrógeno Total			X		
pH	X	X	X	X	
Sólidos Totales Disueltos	X	X	X	X	
Sólidos Totales Suspendidos		X	X		
Sulfatos. SO4-2	X	X	X	X	X
Sulfuros		X	X		
Turbidez	X	X	X	X	
Metales disueltos	X	X	X	X	X
Metales totales	X	X	X	X	X
Coliformes Fecales o Termotolerantes	X	X	X	X	
Coliformes totales	X				
Enterococos intestinales	X	X			
Escherichia coli	X				
Vibrio cholerae	X				
Microcistina LR	X				
Formas Parasitarias	X				
Huevos de Helmintos		X			
Organismos de Vida Libre	X				

Tabla 2-4 Estándares de Calidad de Agua Superficial

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

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

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

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

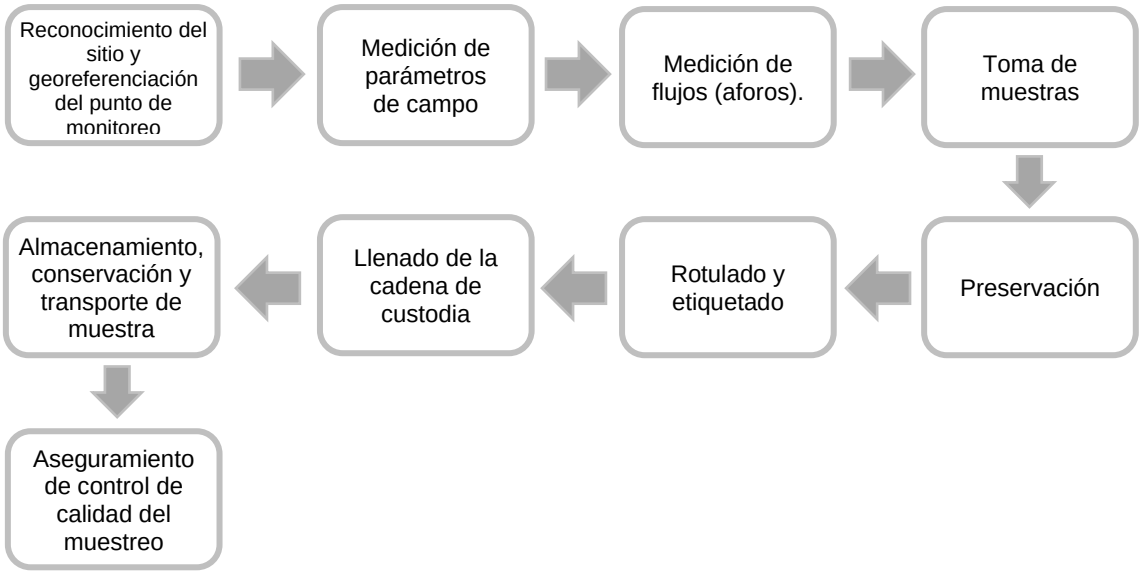
Notas:
(a) ECA aprobado por D.S. Nº 004-2017-MINAM.
(*) Los análisis de laboratorio incluyen también el análisis de metales disueltos; sin embargo, estos no se encuentran regulados por los ECA nacionales

2.3 Recolección de datos de campo

2.3.1 Toma de muestras

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

Figura 2-1 Esquema del procedimiento de muestreo



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

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

2.3.2 Medición de caudales

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

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

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

2.4 Análisis de laboratorio

Las 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	0.51	
M9C	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #2	0.11	
M9D	Chamcas, agua para consumo doméstico - Tanque #3	0.53	
PIA-1	Caja de reunión de agua del Proyecto PIASAA	4.25	
S12	Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico	0.54	
S12A	Guagayoc, captación de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
S22	Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
S22C	Yerba Buena Alta, tanque de agua para consumo doméstico #2.	0.36	
S23	El Porvenir, tanque de agua para consumo doméstico	1.37	
S24T	San Juan de Yerba Buena, nuevo tanque de agua para consumo doméstico	1.52	
S30A	Sorgón Alto, tanque de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
S32A	Rodacocha, tanque de agua para consumo doméstico	0.73	
S34	El Pedregal, tanque de agua para consumo doméstico	-	Reservorio cerrado
M1	Quebrada Chamcas	32	
M2	Quebrada Kerosene	16.8	
M17	Quebrada Hierbabuena	96.27	
M21	Río Grande	874.79	
M21B	Quebrada Yanacocha	122.5	
M22	Laguna Mamacocha	-	Laguna
P11	Piezómetro artesiano en quebrada Hierbabuena	0.47	
Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo			
S1	Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S2	Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S3	Manantial El Moro - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S4	Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S5	Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S6	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S7	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S8	Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA	-	Ausencia de llaves
S9	Manantial Sin Nombre	-	Ausencia de llaves
S20A	Manantial en Chamcas (en terreno de la Sra. Margarita Chavez)	0.097	
S20B	Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas)	-	Flujo mínimo
S21A	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	0.1	
S21B	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	0.309	

Punto	Descripción	Caudal (L/s)	Observación
S21C	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	0.145	
S21D	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	0.168	Flujo mínimo
S21E	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	0.397	
S30B	Manantial S30B	-	Sin flujo
S30C	Manantial S30C	1.255	
S30D	Manantial S30D	1.242	
S34A	Captación de agua para riego en El Pedregal	5.001	
S34B	Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal)	1.983	
M4	Laguna Cama de los Shingos	-	Laguna
M5	Laguna Kerosene	-	Laguna
M37	Bofedal Pajablanca	2.962	

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	7.43	53.4	7.33	10.5	0.7
M9C	Tanque #2 ACD Chamcas	7.19	45.6	7.6	9.7	1.01
M9D	Tanque #3 ACD Chamcas	6.59	70.5	7.57	10.8	0.5
PIA-1	Caja de reunión del Proyecto PIASAA	7.39	377	7.25	11.7	1.25
S12	Guagayoc, tanque de ACD	7.28	238	7.21	10	1.1
S12A	Guagayoc, tanque de ACD	7.59	213	7.19	8.7	0.6
S22	ACD en la escuela de YB Alta	6.8	160.3	6.89	9.3	0.46
S22C	Nuevo tanque ACD YB Alta	6.87	209	6.85	10	0.51
S23	ACD en El Porvenir de YB	6.6	304	6.68	10.4	0.73
S24T	Nuevo tanque de ACD en San Juan YB	7.29	383	6.83	11.4	0.3
S30A	Tanque de ACD de Sogorón Alto	**4.29**	36.7	7.62	12	1.42
S32A	Tanque de ACD en Rodacocha	**5.68**	12.5	7.22	12	0.45
S34	Tanque de ACD en El Pedregal	6.73	16.2	8.67	11.4	0.36

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 mostrado en la Tabla 4-1, el pH varió entre un valor mínimo de 4.29 y un valor máximo de 7.59 (estaciones S30A y S12A respectivamente). Las estaciones S30A y S32A, con valores de pH de 4.29 y 5.68 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 6.68 y 8.67 mg/l, con un valor promedio de 7.30 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

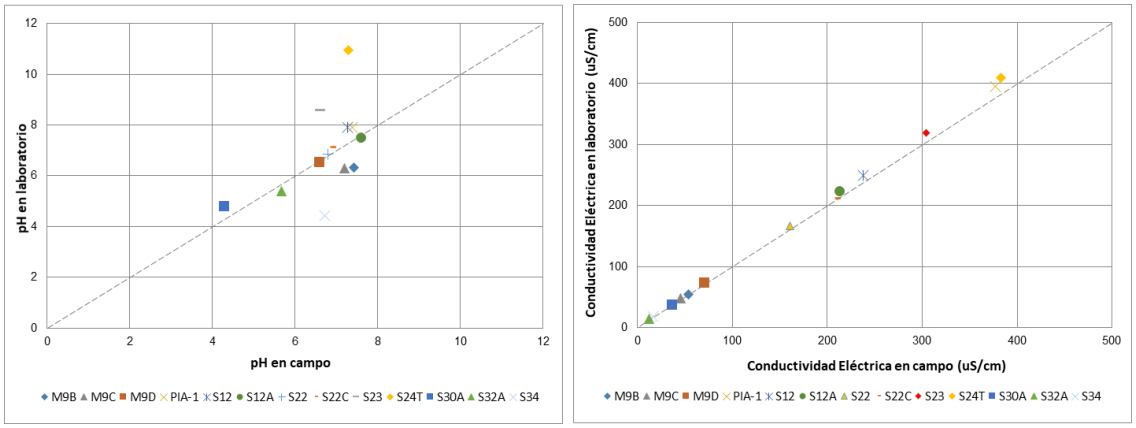
Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Color Verdadero	UC	13	4	<LD	4.5	NA	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	13	8	<LD	1.7	0.53	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	13	7	<LD	189	78.20	-
Dureza Total	mg CaCO3/L	13	9	1.9	155.9	74.88	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	13	9	13.6	409	170.70	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	13	9	10	240	102.23	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	u.e.	13	9	**4.44**	**10.95**	6.97	7*
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3-N/L	13	9	0.023	0.091	0.033	-
Fósforo Total	mg P/L	13	3	<LD	0.016	NA	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	13	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	13	2	<LD	6	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	9	0.3	1.42	0.72	-
Conductividad (campo)	uS/cm	13	9	12.5	383	163.02	-
Temperatura	°C	13	9	8.7	12	10.61	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	u,e,	13	9	**4.29**	7.59	6.75	2
Oxígeno Disuelto	mg/L	13	9	6.68	8.67	7.30	-

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

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

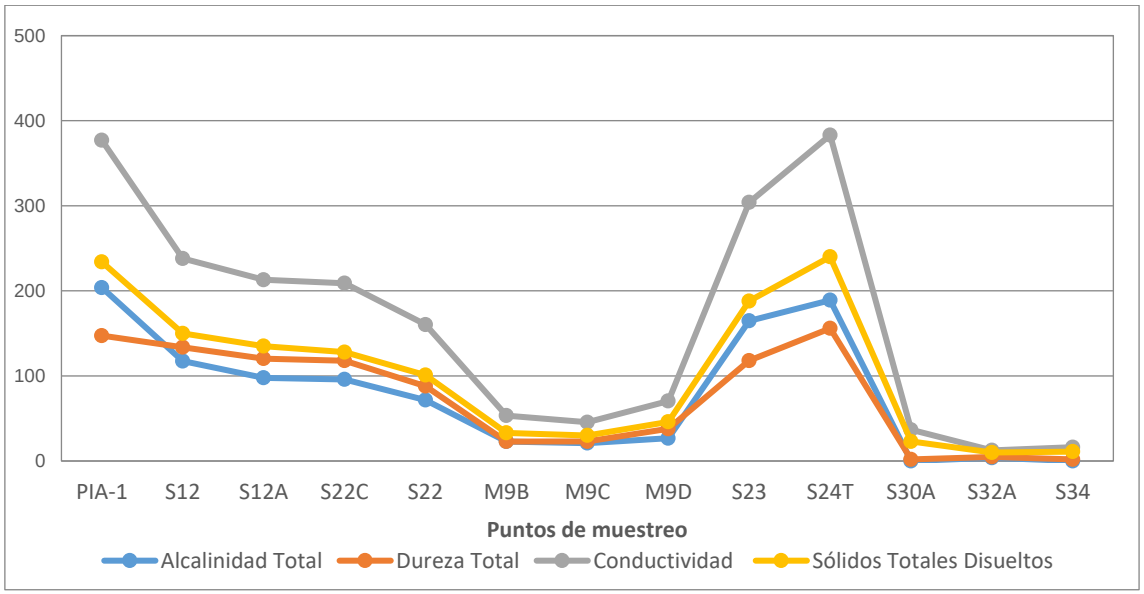
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 12.5 y 383 µS/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 13.6 y 409 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 4.29 y 7.59 u.e., mientras que, los resultados de laboratorio indican valores entre 4.44 y 10.95 u.e. En las estaciones M9B, M9C, y S34 se registraron valores de pH de laboratorio más ácidos en comparación a los resultados obtenidos en campo, y en la estación S23 y S24T se registraron valores notablemente más alcalinos que los valores de campo; esto estaría relacionado a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio. En la Figura 4-1, se muestra gráficamente la correlación existente entre los valores registrados en campo y laboratorio.

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



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 10 y 240 mg/l, con un valor promedio de 102.23 mg/l, evidenciando que a mayor STD existe una mayor conductividad eléctrica. La alcalinidad también presenta una relación directa con la conductividad eléctrica y fue nula a baja (<50 mg/L) en puntos con pH ácido; y en el resto de los puntos con pH neutro fue clasificada como alcalinidad media a alta, con valores entre 71.6 y 203.8 mg/L. Como se muestra en la Figura 4-2, la alcalinidad, conductividad, dureza y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo.

Figura 4-2 Valores de STD, CE, Dureza y Alcalinidad total en aguas Categoría 1-A1



Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como agua blanda la que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio (CaCO3), medianamente dura entre 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L y muy dura aquella con valores superiores a 180 mg/L. La dureza total del agua Categoría 1-A1 en la Zona I de estudio varía de blanda (puntos M9B, M9C, M9D, S30A, S32A y S34) a dura (S12, 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, a excepción de una excedencia puntual de hierro total en la estación S30A.

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	7	<LD	0.596	0.086	-
*Antimonio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	13	1	<LD	0.00028	NA	-
*Bario Total	13	9	0.0017	0.0092	0.0052	-
*Berilio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Bismuto Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Boro Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Cadmio Total	13	3	<LD	0.00062	NA	-
Calcio Total	13	9	0.403	68.059	27.033	-
Cerio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Cesio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Cobalto Total	13	6	<LD	0.00088	NA	-
*Cobre Total	13	7	<LD	0.00308	0.00096	-
*Cromo Total	13	2	<LD	0.0004	NA	-
Estaño Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	13	9	0.0012	0.1403	0.0606	-
Fósforo Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Galio Total	13	1	<LD	0.00016	NA	-
Germanio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Hafnio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	13	9	0.0025	**0.3877**	0.0625	1
Lantano Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Litio Total	13	4	<LD	0.0017	NA	-
Lutecio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Magnesio Total	13	9	0.09	5.139	2.49	-
*Manganeso Total	13	8	<LD	0.02896	0.00681	-

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Mercurio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Molibdeno Total	13	4	<LD	0.00026	NA	-
Niobio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Niquel Total	13	1	<LD	0.0018	NA	-
Plata Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Plomo Total	13	1	<LD	0.0039	NA	-
Potasio Total	13	9	0.17	0.65	0.39	-
Rubidio Total	13	2	<LD	0.0018	NA	-
*Selenio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Silice Total	13	9	4.45	14.76	9.54	-
Silicio Total	13	9	2.08	6.9	4.46	-
Sodio Total	13	9	0.081	2.903	1.335	-
Talio Total	13	0	<LD	<LD	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	8	<LD	0.0043	0.0025	-
*Uranio Total	13	3	<LD	0.000107	NA	-
Vanadio Total	13	1	<LD	0.0008	NA	-
Wolframio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	13	0	<LD	<LD	NA	-
*Zinc Total	13	8	<LD	0.1057	0.0161	-
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.
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 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, berilio, boro, mercurio y selenio no estuvieron presentes en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como arsénico, cadmio, cromo, molibdeno, níquel, plomo 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

De los trece (13) puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), el aluminio total fue detectado en solo siete muestras analizadas, en las seis muestras restantes las concentraciones se hallaron por debajo del límite de detección (<LD). Las muestras analizadas tuvieron un valor promedio de 0.086 mg/L; y variaron entre un valor mínimo de <LD (<0.003 mg/L) y un máximo de 0.596 mg/L (estación S30A). En todos los casos los valores se encontraron por debajo del límite de referencia de la Categoría 1-A1 del ECA de agua (0.9 mg/L).

Bario Total

El bario total estuvo presente en nueve de las trece (13) muestras analizadas, en las cuatro muestras restantes se reportaron concentraciones por debajo del límite de detección (<LD). En las muestras con concentraciones detectadas de bario, se tuvo una concentración promedio de 0.0052 mg/L, entre un valor mínimo de <LD (<0.0003 mg/L) y un máximo de 0.0092 mg/L (estación S22C). Cabe indicar que las concentraciones de bario total registradas se encontraron muy por debajo del valor de referencia indicado en el ECA de agua, el cual es de 0.7 mg/L para todas las categorías desarrolladas en el presente informe.

Cobre Total

El cobre total fue detectado en siete de las trece (13) muestras analizadas, en las seis muestras restantes se reportaron concentraciones por debajo del límite de detección (<LD). Las muestras con concentraciones cuantificadas de cobre tuvieron un valor promedio de 0.00096 mg/L; y variaron entre un valor mínimo de <LD (<0.003 mg/L) y un máximo de 0.00308 mg/L (estación S30A). En todos los casos los valores se encontraron por debajo del límite de referencia de la Categoría 1-A1 del ECA de agua (2 mg/L).

Hierro Total

El hierro total fue detectado en nueve 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 0.0625 mg/L, variando entre un mínimo de 0.0025 mg/L (estación S24T) y un máximo de 0.3877 mg/L (estación S30A). Este último valor mencionado excedería la Categoría 1-A1 del ECA de agua para hierro total (0.3 mg/L) y dicha concentración guardaría relación a la mineralización existente en la zona. Para todos los demás puntos de muestreo, las concentraciones detectadas se encontraron por debajo del límite de referencia del ECA.

Manganeso Total

Se detectaron concentraciones de manganeso total en ocho de las trece muestras analizadas; dichas concentraciones variaron en un rango entre <LD (0.00010 mg/L) y 0.02896 mg/L (estación S30A), con un valor promedio de 0.00681 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 ocho puntos de muestreo relacionados a la categoría 1-A1 del ECA de agua. Las muestras analizadas presentaron en promedio una concentración de 0.0161 mg/L de zinc total, con valores que se encuentran en el rango entre <LD (<0.0026 mg/L) y 0.1057 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

Se reportaron concentraciones de coliformes fecales mayores al límite de detección del método (<1.8 NMP/100 mL) en cuatro puntos de muestreo, cuyos valores variaron en un rango entre 2 NMP/100 mL y 4.5 NMP/100 mL (estación S23); sin embargo, estos valores cumplen con los estándares establecidos en el ECA de agua (20 NMP/100 mL para la categoría 1-A1).

Los valores de coliformes totales analizados variaron en un rango de 2 NMP/100 mL y 33 NMP/100 mL (estación S23); donde para todos los casos se cumple con el estándar de referencia de 50 NMP/100 mL indicado en el ECA de agua.

Escherichia coli

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

Organismos de vida libre

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones M9B, M9C, M9D, PIA-1, S22, S22C, S30A y S32A, en una proporción que varía entre 12 y 212 organismos/L.

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

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

Otros parámetros microbiológicos

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

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

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

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

4.2.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 3-D1 - Riego de vegetales		**6.5 - 8.5**	**2500**	**≥ 4**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 3-D2 - Bebida de animales		**6.5 - 8.4**	**5000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
ECA Categoría 4-E2 - Ríos		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	
M1	Qda. Chamcas	6.77	59.80	8.15	8.10	1.26
M2	Qda. Kerosene	**5.81**	23.40	7.59	8.50	1.35
M17	Qda. Hierbabuena	8.17	239.00	7.23	12.90	2.24
M21	Río Grande	**8.48**	264.00	7.55	15.90	3.02
M21B	Qda. Yanacocha	7.88	36.10	7.40	12.50	2.30

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

Según los resultados obtenidos, las aguas analizadas presentan un pH que varía entre 5.81 y 8.48 (estaciones M2 y M21 respectivamente). En base a la categoría en mención, la estación M2 incumpliría los valores de referencia indicados en la norma, así como, la estación M21 se encontraría por encima del límite del nivel de referencia superior de la categoría D2 del ECA de agua (Bebida de animales), pero, cumpliría el estándar para la categoría D1 (riego de vegetales). 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.

Los valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo relacionados con las categorías 3 y 4 del ECA de Agua, varían entre 7.23 y 8.15 mg/l, con un valor promedio de 7.08 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	5	3.7	7.5	5.52	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	5	5	0.8	1.4	1.12	-
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	5	5	1.9	146.5	63.0	-
Conductividad (laboratorio)	uS/cm	5	5	26.6	286.2	134.2	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	5	15	170	79.6	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	5	5	**5.07**	8.04	6.658	2*
Amoníaco	mg NH3/L	5	5	0.032	0.073	0.055	-

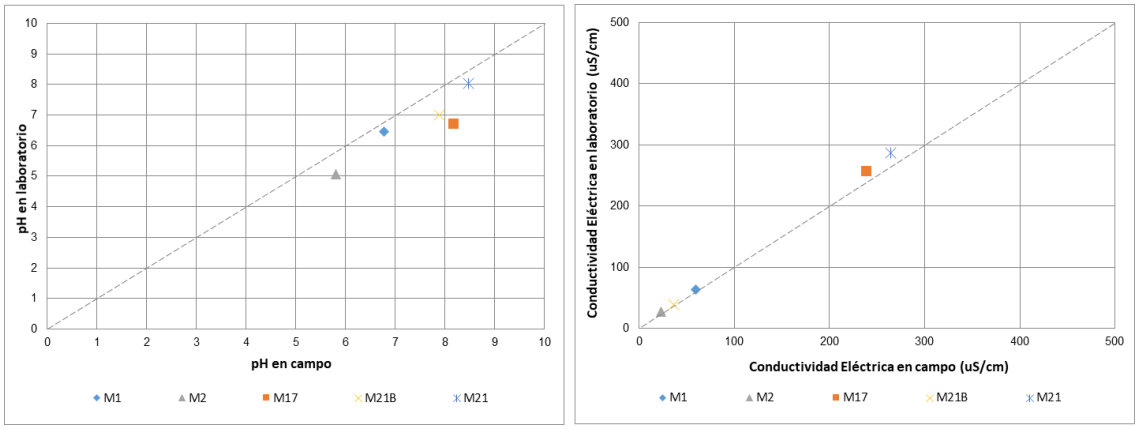
Parámetro	Unidad	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede al ECA
Fósforo Total	mg P/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Sulfuro	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	5	2	<LD	5.5	NA	-
S.A.A.M. (Detergentes)	mg MBAS/L	5	0	<LD	<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	-
Cianuro WAD	mg/L	5	0	<LD	<LD	NA	-
Turbidez	NTU	5	5	1.26	3.02	2.0	-
Conductividad (campo)	uS/cm	5	5	23.4	264	124.46	-
Temperatura	°C	5	5	8.1	15.9	11.58	-
Potencial de Hidrógeno (campo)	pH	5	5	**5.81**	**8.48**	7.42	2
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	5	7.23	8.15	7.58	-

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, 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 sólidos totales en suspensión, cromo hexavalente, fósforo total, sulfuros, demanda bioquímica 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.

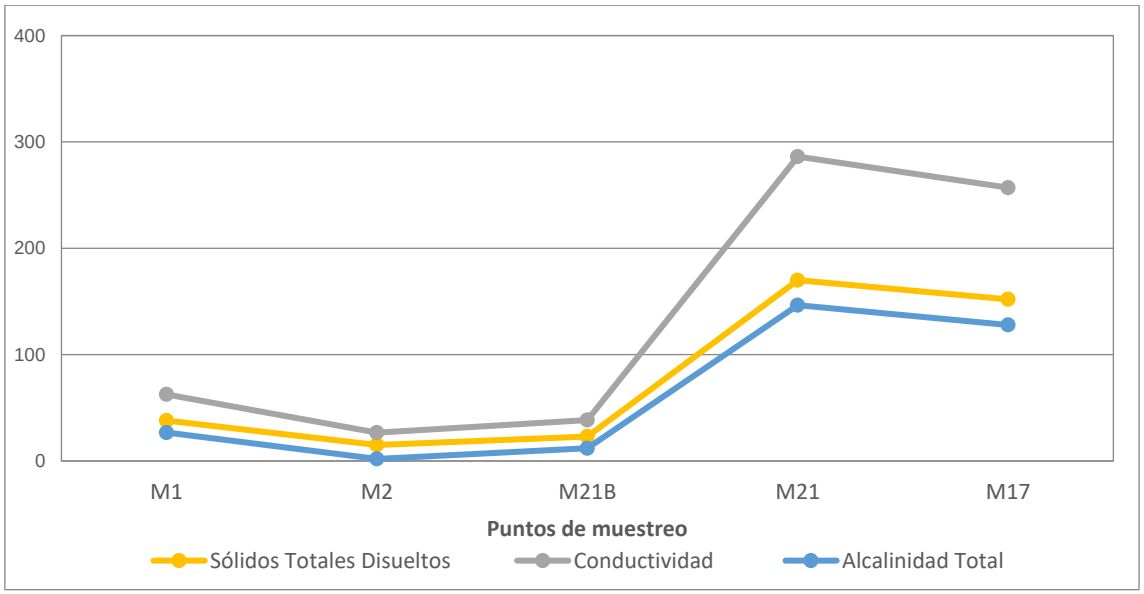
De manera general, existe una buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica y pH registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 23.4 y 264 µS/cm, mientras que, los resultados de laboratorio varían entre 26.6 y 286.2 µS/cm. Para el caso del pH, los valores registrados en campo varían entre 5.81 y 8.48 u.e., en tanto, los resultados de laboratorio indican valores entre 5.07 y 8.04 u.e. En las estaciones M2, M17 y M21B se registraron valores de pH de laboratorio más ácidos en comparación a los resultados obtenidos en campo, esto estaría relacionado a un proceso de oxidación ocurrido entre la toma de muestra y el análisis en laboratorio. En la Figura 4-3, se muestra gráficamente la correlación existente entre los valores registrados en campo y laboratorio.

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



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

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



4.2.3 Metales de interés ambiental

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

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

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

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

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
*Aluminio Total	5	5	0.03	0.352	0.128	-
*Antimonio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Arsénico Total	5	2	<LD	0.00103	NA	-
*Bario Total	5	5	0.005	0.0153	0.0089	-
*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	0.0001	0.00006	-
*Cadmio Disuelto	5	0	<LD	<LD	NA	-
Calcio Total	5	5	0.299	49.938	20.896	-
Cerio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Cesio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Cobalto Total	5	5	0.00003	0.00169	0.00050	-
*Cobre Total	5	5	0.00083	**0.12923**	0.02847	1
*Cromo Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estaño Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Estroncio Total	5	5	0.0025	0.1608	0.0694	-
Fósforo Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Galio Total	5	3	<LD	0.00018	0.000138	-
Germanio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Hafnio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Hierro Total	5	5	0.029	0.7046	0.2249	-
Lantano Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Litio Total	5	4	<LD	0.0008	0.0006	-
Lutecio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Magnesio Total	5	5	0.301	3.839	1.975	-
*Manganeso Total	5	5	0.00204	0.03851	0.01811	-
*Mercurio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Molibdeno Total	5	2	<LD	0.00038	NA	-
Niobio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Níquel Total	5	2	<LD	0.0018	NA	-
Plata Total	5	1	<LD	0.000059	NA	-
*Plomo Total	5	1	<LD	0.0016	NA	-
Potasio Total	5	5	0.39	0.86	0.546	-
Rubidio Total	5	4	<LD	0.002	0.0011	-
*Selenio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Silice Total	5	5	5.23	9.1	7.03	-
Silicio Total	5	5	2.44	4.25	3.28	-
Sodio Total	5	5	0.347	1.982	0.995	-
*Talio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-

Metales (mg/L)	Muestras analizadas	Concen. detectadas	Mínimo	Máximo	Media	Excede el ECA
Tantalio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Teluro Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Thorio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Titanio Total	5	3	<LD	0.0017	0.0009	-
Uranio Total	5	2	<LD	0.000158	NA	-
Vanadio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Wolframio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
Yterbio Total	5	0	<LD	<LD	NA	-
*Zinc Total	5	5	0.0038	0.0138	0.0068	-
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, cromo, mercurio, selenio y talio no fueron detectados en las muestras de agua obtenidas. Para el caso de metales como arsénico, níquel y plomo estos presentaron concentraciones mayores al límite de detección (<LD) en menos del 50% de las muestras analizadas, y en todos los casos dichos valores se encontraron muy por debajo del ECA de referencia.

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

Aluminio Total

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 0.128 mg/L; variaron entre un valor mínimo de 0.03 mg/L (estación M21) y un valor máximo de 0.352 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 0.005 mg/L (estación M21B) y 0.0139 mg/L (estación M21), con un valor promedio de 0.0089 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.

Cadmio Total

Se reportaron tres valores de cadmio total mayores al límite de detección del método de análisis. Las concentraciones reportadas variaron entre <LD (<0.00003 mg/L) y 0.0001 mg/L (estación M1), sin embargo, todos estos valores se encontraron muy por debajo del nivel de referencia indicado en el ECA de agua.

Cobalto Total

El cobalto fue detectado los cinco puntos de muestreo relacionados a las categorías 3 y 4 del ECA, con un valor promedio de 0.00050 mg/L, en un rango que va desde un valor mínimo de 0.00003 mg/L (estación M21) y un máximo de 0.00169 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

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron una concentración promedio de cobre total de 0.02847 mg/L, con un valor mínimo de 0.00083 mg/L en la estación M21, y un valor máximo de 0.12923 mg/L en la estación M2. Este último punto de muestreo mencionado, ubicado en la Quebrada Kerosene, se encontraría por debajo de los valores de referencia indicados en la categoría 3 del ECA, relacionado a la bebida de animales (0.5 mg/L) y riego de vegetales (0.2 mg/L); sin embargo, excedería ligeramente los 0.1 mg/L que indica el valor de referencia para la categoría 4 de la norma (Conservación del ambiente acuático: Ríos). Esta excedencia guardaría relación a la mineralización existente en la zona adyacente al punto de muestreo.

Hierro Total

Se obtuvo una concentración promedio de 0.2249 mg/L de hierro total, con valores que varían entre 0.029 mg/L (estación M21) y 0.7046 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).

Litio Total

El litio fue detectado en cuatro puntos de muestreo, con concentraciones que variaron entre <LD (<0.0003 mg/L) en la estación M2 y 0.0008 mg/L en las estaciones M17 y M21B. Todos los valores reportados se encontraron muy por debajo del valor de referencia de 2.5 mg/L indicado para este metal.

Magnesio Total

Se detectaron concentraciones de magnesio total en todas las estaciones muestreadas, cuyos valores variaron en un rango entre 0.301 mg/L (estación M2) y 3.839 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 0.00204 mg/L (estación M21) y 0.03851 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.

Níquel Total

Se detectaron concentraciones de magnesio total en dos estaciones muestreadas, cuyos valores fueron 0.001 mg/L y 0.0018 mg/L en las estaciones M1 y M2 respectivamente; en los puntos de muestreo restantes se reportaron concentraciones <LD (<0.0006 mg/L). Todas las estaciones cumplen con los valores de referencia de las categorías 3 y 4 del ECA de agua.

Zinc Total

Las aguas relacionadas a las categorías 3 y 4 del ECA, presentaron concentraciones que varían entre 0.0038 mg/L (estación M1) y 0.0138 mg/L (estación M2). Para todos los casos, las concentraciones halladas cumplen con las categorías en mención del ECA de agua.

4.2.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Como parte de la evaluación de las aguas asociadas a la categoría 3 del ECA de agua, se efectuó el análisis de coliformes fecales, donde las concentraciones variaron entre <LD (<1.8 NMP/100 mL) y 4.5 NMP/100 mL (estación M2 y M17), donde para todos los casos se cumple con los niveles de referencia indicados en las categorías 3 y 4 del ECA de agua

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

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

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

4.3 Aguas superficiales en lagunas, Categoría 4-E1

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

4.3.1 Parámetros de campo (*in-situ*)

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

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M22	Laguna Mamacocha	**4.83**	31.6	7.51	7.10	0.89

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

El punto de muestreo M22, ubicado en la Laguna Mamacocha, presentó un valor de 4.83 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	3.7	-
Turbidez (laboratorio)	NTU	1.0	-

Parámetro	Unidad	Punto M22	Excede al ECA
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	<LD	-
Conductividad	uS/cm	31.5	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	20	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	<LD	-
Cromo Hexavalente Total	mg Cr/L	<LD	-
Potencial de Hidrógeno (laboratorio)	pH	4.20	Si*
Amoníaco	mg NH3/L	0.029	-
Nitrógeno Total	mg N/L	0.27	-
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 muy buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Asimismo, las concentraciones de sólidos totales disueltos guardan una excelente correlación con la conductividad, evidenciando que a mayor STD existe una mayor conductividad eléctrica.

4.3.3 Metales de interés ambiental

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

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

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

Metales (mg/L)	Punto M22	Excede al ECA
Aluminio Total	0.274	-
*Antimonio Total	<LD	-
*Arsénico Total	0.00101	-
*Bario Total	0.0027	-
Berilio Total	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M22	Excede al ECA
Bismuto Total	<LD	-
Boro Total	<LD	-
Cadmio Total	0.00008	-
Cadmio Disuelto	0.00006	-
Calcio Total	0.950	-
Cerio Total	<LD	-
Cesio Total	<LD	-
Cobalto Total	0.00071	-
*Cobre Total	0.00149	-
Cromo Total	<LD	-
Estaño Total	<LD	-
Estroncio Total	0.0067	-
Fósforo Total	<LD	-
Galio Total	<LD	-
Germanio Total	<LD	-
Hafnio Total	<LD	-
Hierro Total	0.1855	-
Lantano Total	<LD	-
Litio Total	0.0008	-
Lutecio Total	<LD	-
Magnesio Total	0.368	-
Manganeso Total	0.01632	-
*Mercurio Total	<LD	-
Molibdeno Total	<LD	-
Niobio Total	<LD	-
*Niquel Total	0.0006	-
Plata Total	<LD	-
*Plomo Total	<LD	-
Potasio Total	0.38	-
Rubidio Total	0.0010	-
*Selenio Total	<LD	-
Silice Total	1.01	-
Silicio Total	0.47	-
Sodio Total	0.248	-
*Talio Total	<LD	-
Tantalio Total	<LD	-
Teluro Total	<LD	-
Thorio Total	<LD	-
Titanio Total	0.0014	-
Uranio Total	<LD	-
Vanadio Total	<LD	-
Wolframio Total	<LD	-

Metales (mg/L)	Punto M22	Excede al ECA
Yterbio Total	<LD	-
*Zinc Total	0.0154	-
Zirconio Total	<LD	-

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

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

4.3.4 Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Se efectuó el análisis de coliformes fecales en el punto de muestreo de la Laguna Mamacocha; donde no se detectaron concentraciones de coliformes, ya que se reportó una concentración <LD (<1.8 NMP/100 mL), por lo cual 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 (250 mg/L) y una conductividad eléctrica de 426 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.59) y una baja concentración de oxígeno disuelto (3.36 mg/L).

Los análisis de laboratorio realizados indican que estas aguas contienen trazas de metales como bario, boro, cadmio, calcio, estaño, estroncio, hierro, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, rubidio, sílice, silicio, sodio, titanio, uranio 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				Organismo de Vida Libre Algas	
PIA1	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas	
S12	1-A1					
S12A	1-A1					
S22	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas	
S22C	1-A1				Organismo de Vida Libre Algas	
S23	1-A1					
S24T	1-A1					
S30A	1-A1	X			Organismo de Vida Libre Algas	Fe
S32A	1-A1	X			Organismo de Vida Libre Algas	
S34	1-A1					
M1	3 y 4					
M2	3 y 4	X				Cu
M17	3 y 4					
M21	3 y 4	X				
M21B	3 y 4					
M22	4-E1	X				
P11	A. Sub.					

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

4.6 Evaluación Hidroquímica

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

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

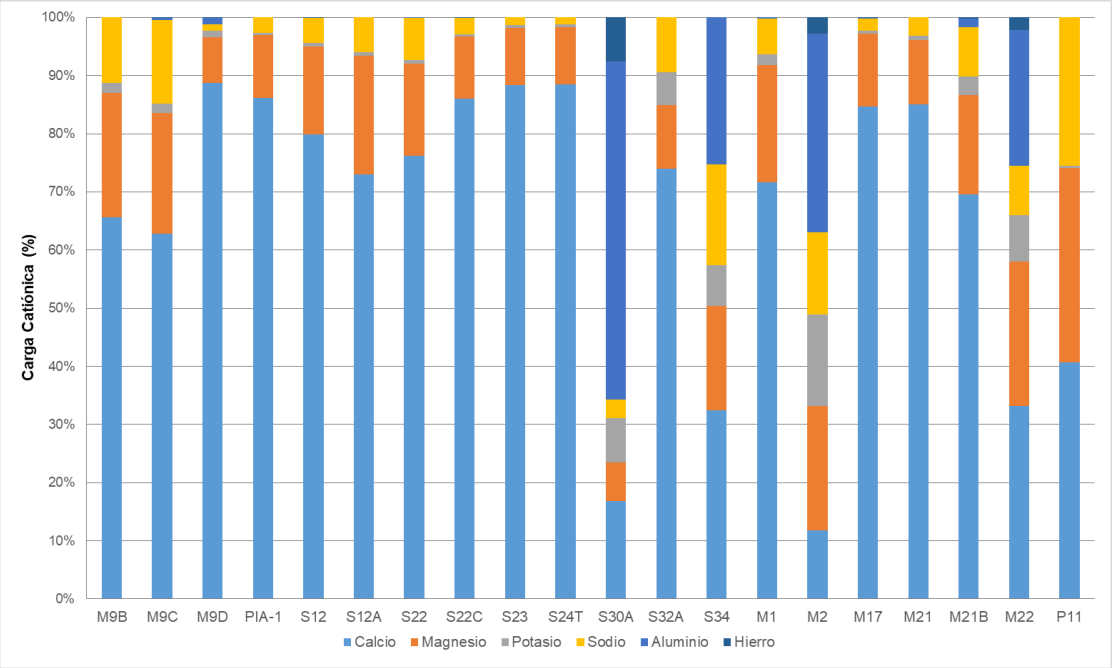
Punto	Cationes (meq/L)						Aniones (meq/L)					
	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+3}	Fe^{+3}	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	$N\text{-}NO_3^-$
M9B	0.305	0.099	0.008	0.052	0.000	0.000	0.381	0.002	0.002	0.001	0.041	0.004
M9C	0.255	0.084	0.006	0.058	0.002	0.000	0.350	0.001	0.000	0.000	0.032	0.003
M9D	0.528	0.046	0.007	0.007	0.006	0.001	0.445	0.000	0.000	0.000	0.090	0.000
PIA-1	3.284	0.414	0.013	0.101	0.000	0.000	3.390	0.013	0.037	0.004	0.329	0.041
S12	1.996	0.379	0.014	0.109	0.000	0.001	1.954	0.006	0.003	0.002	0.631	0.011
S12A	1.502	0.421	0.011	0.124	0.000	0.000	1.625	0.010	0.002	0.002	0.286	0.020
S22	1.224	0.255	0.009	0.117	0.001	0.000	1.193	0.001	0.048	0.022	0.291	0.087
S22C	1.717	0.214	0.007	0.057	0.000	0.001	1.598	0.002	0.015	0.000	0.271	0.008
S23	2.870	0.321	0.015	0.044	0.000	0.000	2.744	0.001	0.002	0.002	0.523	0.000
S24T	3.367	0.374	0.016	0.047	0.000	0.000	3.145	0.009	0.005	0.002	0.484	0.008
S30A	0.019	0.007	0.009	0.003	0.065	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000
S32A	0.068	0.010	0.005	0.009	0.000	0.000	0.063	0.000	0.002	0.000	0.019	0.015
S34	0.019	0.010	0.004	0.010	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.012
M1	0.376	0.105	0.010	0.032	0.001	0.000	0.445	0.000	0.002	0.013	0.103	0.000
M2	0.012	0.021	0.016	0.014	0.034	0.003	0.032	0.000	0.005	0.010	0.073	0.000
M17	2.098	0.313	0.011	0.052	0.004	0.001	2.106	0.050	0.004	0.019	0.358	0.001
M21	2.229	0.292	0.017	0.084	0.000	0.000	2.382	0.116	0.026	0.002	0.212	0.007
M21B	0.212	0.052	0.010	0.026	0.004	0.001	0.197	0.002	0.002	0.003	0.137	0.001
M22	0.040	0.030	0.010	0.010	0.028	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	0.000
P11	1.902	1.563	0.019	1.196	0.000	0.000	3.481	0.021	0.036	0.010	0.302	0.003

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.

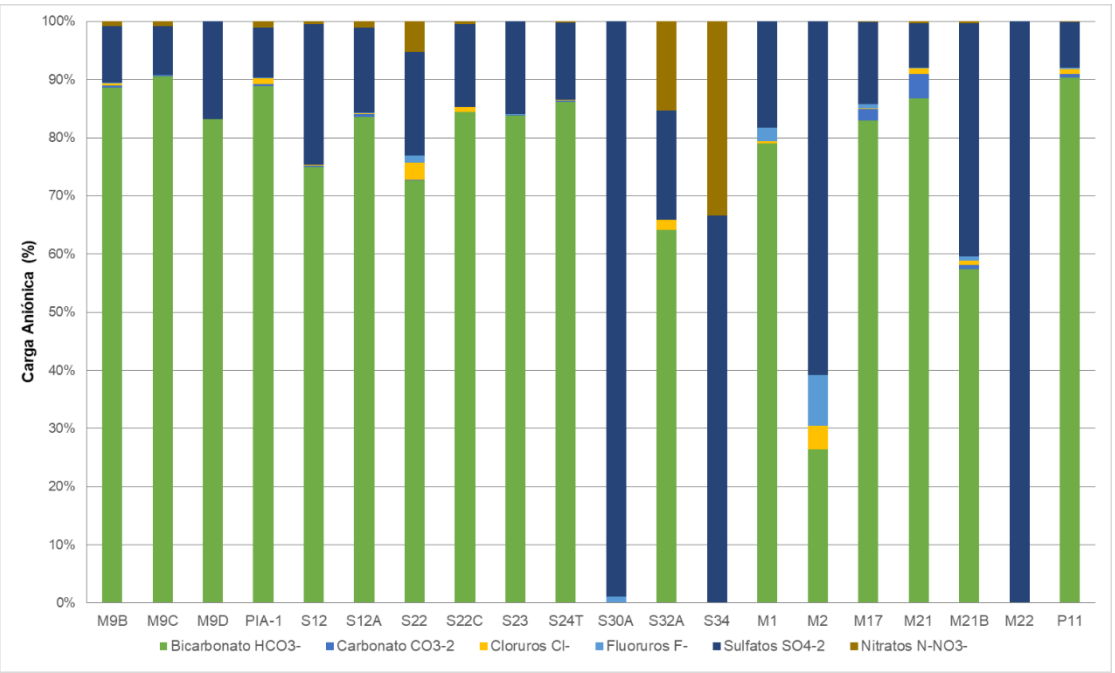
De manera gráfica, se presenta la Figura 4-5, donde se observa que el catión predominante en las estaciones de muestreo de la Zona I corresponde al Calcio, primando en quince (15) de los veinte (20) puntos evaluados, variando desde el 63% hasta el 89% de la de la carga catiónica total (CCT). Las cinco (5) estaciones de muestreo restantes, presentan una carga catiónica total donde predominan cargas mixtas (calcio, magnesio 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 dieciséis (16) puntos de muestreo, con una carga aniónica total que varía entre 57% y 91%. 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 61% 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
S12A	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	Ca - Al	SO_4	Ca-Al-SO_4	Sulfatada Mixta
M1	Ca	HCO_3	Ca-HCO_3	Bicarbonatada Cálcica
M2	Al - Mg	SO4	Al-Mg-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	Ca - Mg - Al	SO_4	Ca-Mg-Al-SO_4	Sulfatada Mixta
P11	Ca - Mg	HCO_3	Ca-Mg-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, S12A, S22C, S22, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (101 a 240 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (71.6 a 203.8 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (6.59 a 8.48). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S30A, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (10 a 46 mg/L), baja alcalinidad (3.8 a 26.7 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (5.68 – 7.88). En todas estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y el catión predominante corresponde al calcio.

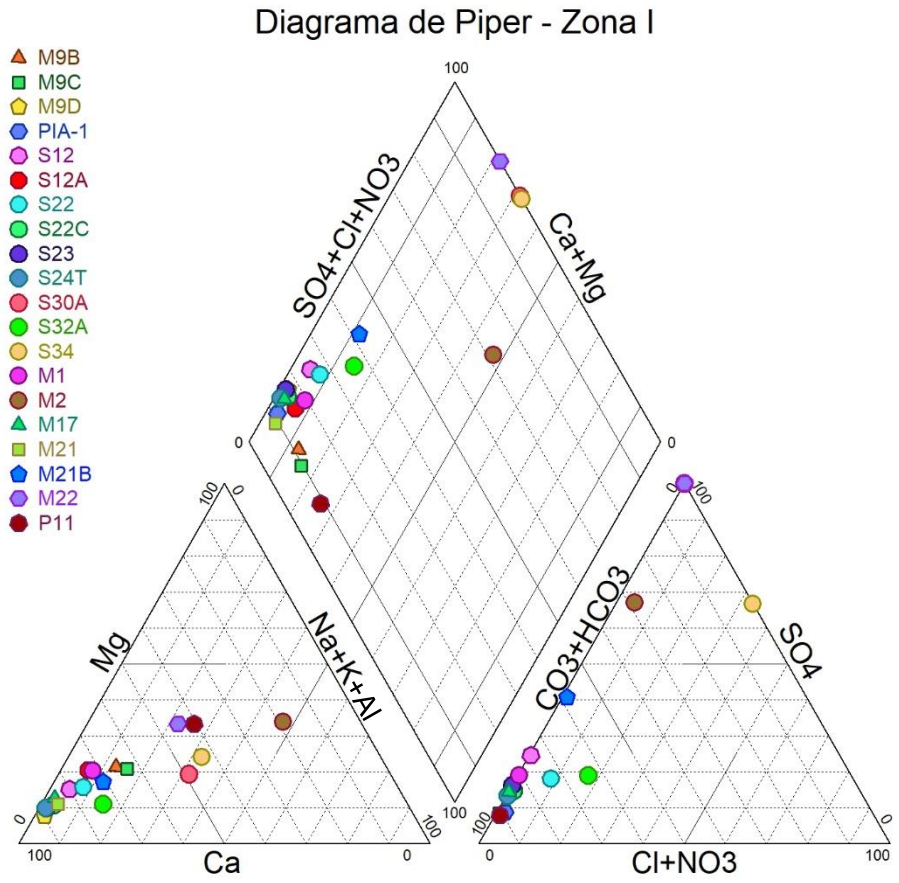
- Aguas Aluminio - Sulfato. Este tipo de agua fue encontrada en la muestra S30A. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (23 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (4.29). En estas aguas el catión predominante es el aluminio y el 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 (250 mg/L), una elevada alcalinidad (209.5 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.59). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio y magnesio.

- 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 y magnesio. Presentan un pH ácido (4.83 a 6.73), alcalinidad nula (a excepción del punto M2 que presenta una concentración de 1.9 mg CACO3/L), baja concentración de STD (11 a 20 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<31.6 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 veinticuatro (24) puntos de muestreo adicionales en la Zona I del Proyecto. Para la evaluación de los resultados de campo, los puntos evaluados se clasifican de acuerdo a su uso, de esta forma se tienen trece (13) puntos asociados a la categoría 1-A1 del ECA, nueve (9) puntos asociados a la categoría 3, y dos (2) puntos relacionados a la categoría 4 del ECA de agua. La Tabla 5-1 muestra los resultados de la evaluación efectuada en campo.

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

Punto	Descripción	pH	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
ECA Categoría 1-A1		**6.5 - 8.5**	**1500**	**≥ 6**	**Δ 3**	**5**
S1	Manantial El Ojo del Peje - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S2	Manantial Puente Viejo - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S3	Manantial El Moro - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S4	Manantial La Peña Mala - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S5	Manantial La Chilca - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S6	Manantial El Suro - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S7	Manantial Uñigan - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S8	Manantial El Derrumbe - Proyecto PIASAA	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S9	Manantial Sin Nombre	Ausencia de autoridad. Ausencia de llaves.				
S30B	Captación ACD Sogorón Alto	Sin flujo				
S30C	Captación ACD Sogorón Alto	**4.06**	33.7	6.74	12.7	0.53
S30D	Captación ACD Sogorón Alto	**4.41**	28.9	6.01	10.8	0.90
S34B	Captación de agua para consumo doméstico, abastece a S34 (El Pedregal)	**4.67**	16.7	6.92	12.3	0.13
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)	7.08	296.0	6.41	14.9	8.60
S20B	Manantial en Chamcas (en en terreno del Sr. Genaro Ocas)	6.96	315.0	**3.37**	14.7	0.29
S21A	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Elías Palacio Lucano)	7.35	305.0	5.85	14.5	2.05
S21B	Manantial en Chamcas (en terreno de Sra. María Lucano)	7.03	220.3	**4.81**	13.4	4.24
S21C	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	6.79	39.5	6.80	13.2	3.80
S21D	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Esmeregildo Lucano)	**5.11**	37.2	5.44	11.4	0.68
S21E	Manantial en Chamcas (en terreno del Sr. Alcillades Cabrera)	**5.93**	42.4	6.51	12.0	1.39
S34A	Captación de agua para riego en El Pedregal	**5.20**	13.2	7.16	13.0	0.42
M37	Bofedal Pajablanca	**6.23**	38.7	6.10	8.6	1.66
ECA Categoría 4 - Lagos y lagunas		**6.5 - 9.0**	**1000**	**≥ 5**	**Δ 3**	**-**
M5	Laguna Kerosene	**5.58**	32.7	6.88	11.7	2.88
M4	Laguna Cama de los Shingos	**5.90**	21.0	6.39	13.3	0.50

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

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

5.1 Aguas relacionadas a la Categoría 1-A1 del ECA

No fue posible evaluar las aguas relacionadas al proyecto PIASAA (S1 al S9), debido a que no se contó con la presencia de la autoridad, por lo tanto, no se contó con acceso para realizar los muestreos. En los puntos ubicados en Sorgón Alto y El Pedregal, asociados a las captaciones de agua para consumo doméstico, se registraron valores de pH 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 16.7 y 33.7 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.13 y 0.53 NTU; para todos estos casos los resultados cumplieron el ECA. En relación al oxígeno disuelto, los registros en Sorgón Alto cumplieron con el valor mínimo recomendado en el ECA de agua.

5.2 Aguas relacionadas a la Categoría 3 del ECA

Los valores de pH registrados en los cuerpos de agua relacionados al riego de vegetales y consumo de animales variaron entre valores ácidos y neutros, en un rango de 5.11 y 7.35. El pH en los puntos 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 13.2 y 315 µS/cm, mientras que la turbidez varió en un rango entre 0.29 y 8.60 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, a excepción de los puntos S20B y S21B, cuyos valores estarían relacionados al posible estancamiento de las aguas, lo que genera un déficit de aireación y oxigenación.

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 5.58 y 5.90 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 (<LD), a excepción de una pequeña traza de sulfato (0.09 mg/L), sin embargo, al ser esta una concentración relativamente pequeña, no implica una alteración de la confiabilidad del muestreo.

Respecto a los resultados de la muestra de blanco viajero (BK-viajero), se detectaron concentraciones mayores al límite de detección en seis (6) parámetros, correspondiendo a un 6.42% del total de parámetros analizados. Estas concentraciones detectadas en sulfato y algunos metales son muy bajas y sugieren la posibilidad de una casual presencia de aniones en el agua destilada (lo cual sugiere una mala calidad de esta) o, presencia de estos en el recipiente (por ejemplo, presencia de algún anión en recipientes de plásticos o un procedimiento de lavado, enjuague y secado de recipientes).

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

6.2 Balance de cargas

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

La fórmula para calcular el E es:

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

Donde:

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

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

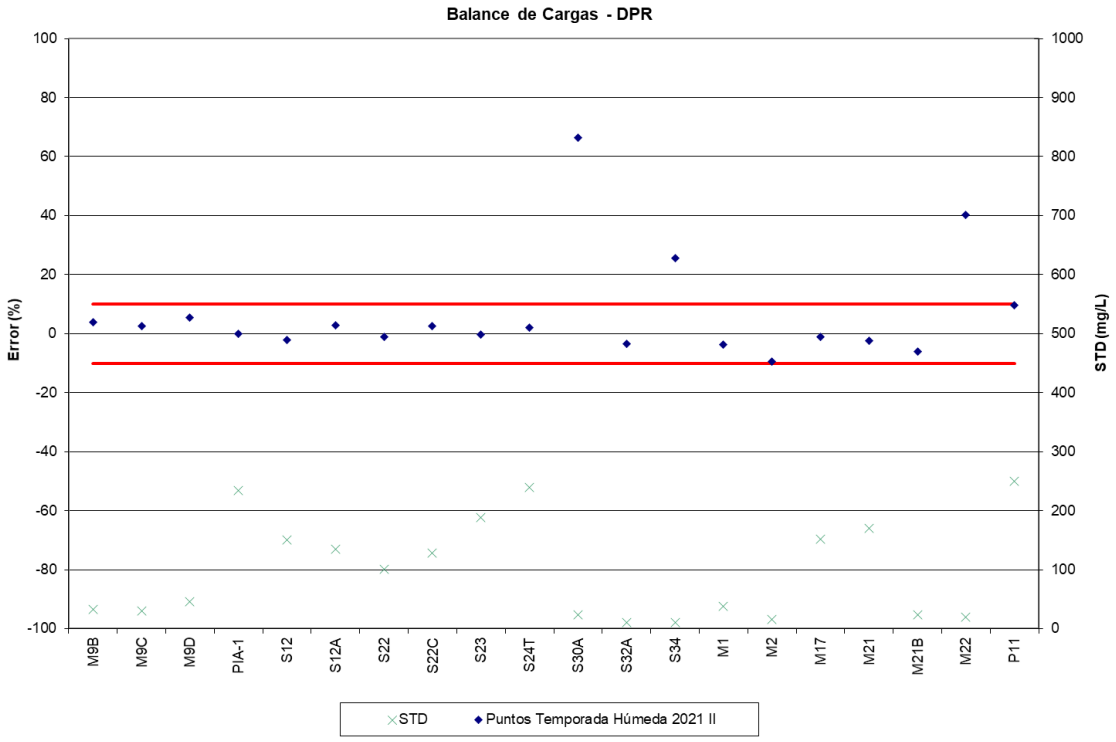
Σm_a: Suma en meq/L de las concentraciones de las especies aniónicas.

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

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

En la Figura 6-1, se presenta de manera gráfica el error de balance iónico obtenido para cada estación. Se observa que para la mayoría de los casos el porcentaje de error varía en rango aceptable de ± 10%, sin embargo, se presentan tres excepciones en el que el error de cargas está fuera de este rango, la explicación a estos valores registrados se basa en que dichas estaciones presentaron valores bajos las cargas catiónicas y aniónicas; además de que para el caso de los puntos S30A, S34 y M22 se presentaron bajas concentraciones de STD (23, 11 y 20 mg/L respectivamente).

Figura 6-1 Error de Balance Iónico - Zona I

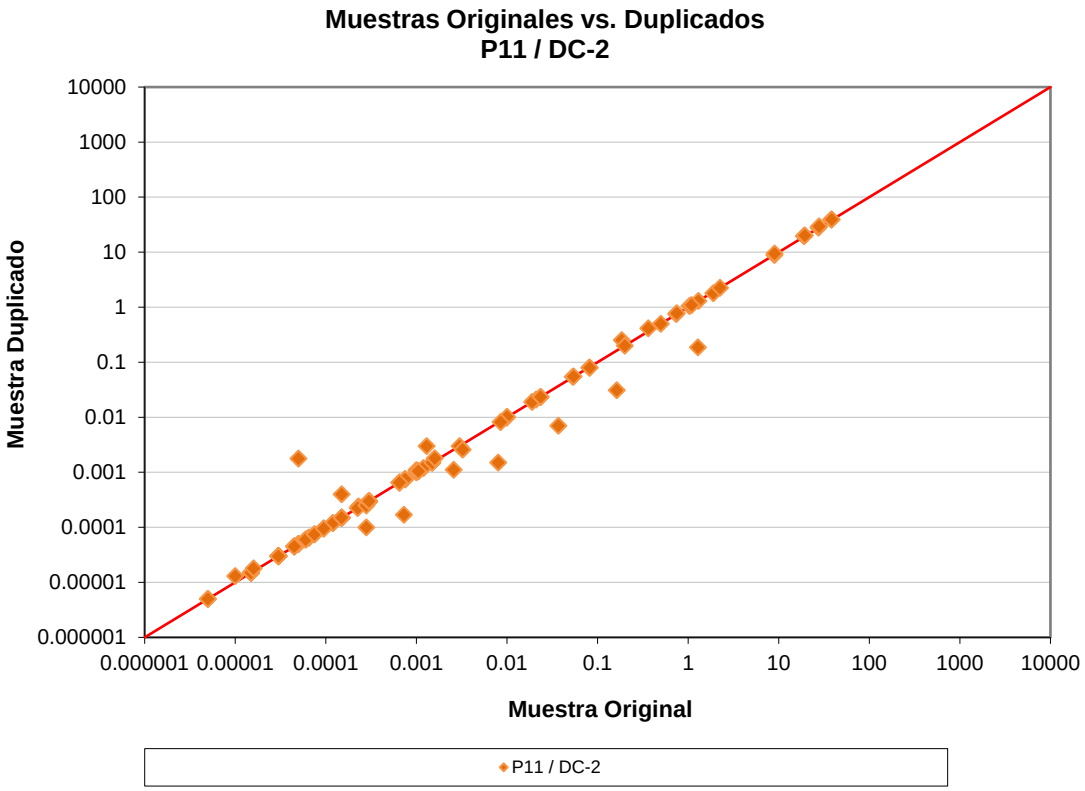


6.3 Análisis de duplicados

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

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

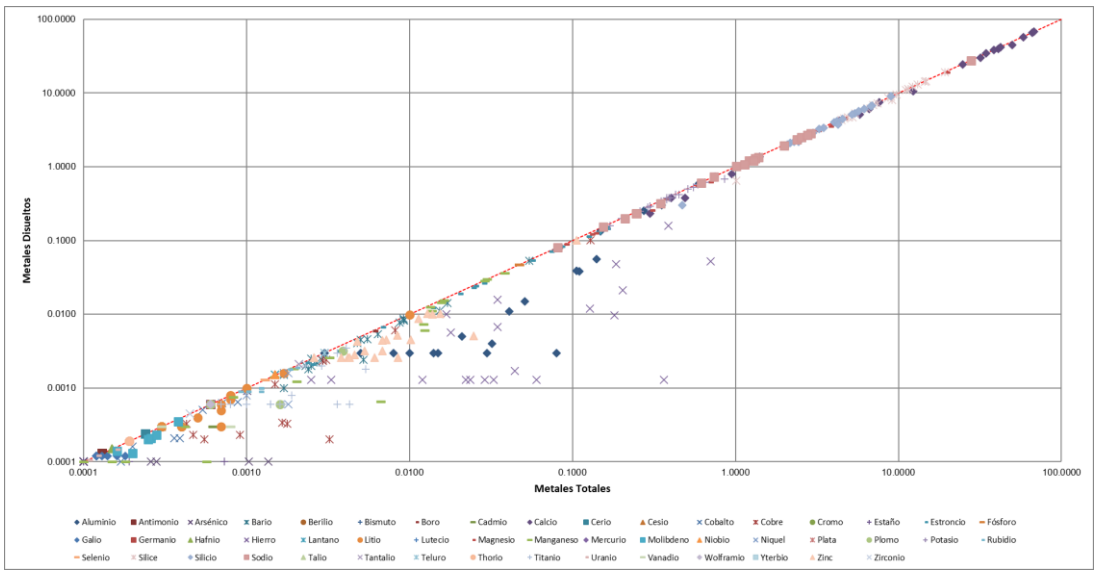
Figura 6-2 Control de calidad - Muestras originales vs. Duplicados



6.4 Comparación entre metales totales y disueltos

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

Figura 6-3 Comparación entre Metales Totales vs. Disueltos



7 Conclusiones y recomendaciones

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

- *Aguas Categoría 1-A1:*

El pH excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en los puntos S30A y S32A; 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.

Solo se presentó una excedencia en metales según los ECA, esto sucedió en el punto S30A, donde el hierro total presentó una concentración de 0.3877 mg/L. La presencia de hierro en este punto es recurrente de acuerdo a los monitoreos realizados con anterioridad, y estaría asociado a la mineralización de la zona adyacente a la fuente de agua.

Se detectó la presencia de organismos de vida libre en forma de algas en las estaciones M9B, M9C, M9D, PIA-1, S22, S22C, S30A y S32A, en una proporción que varía entre 12 y 212 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. Este suceso es un indicador de que es necesario realizar una mayor atención a la limpieza y mantenimiento de los tanques de agua y se debe comunicar a quien corresponda para su mantenimiento.

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

En relación a los trece (13) puntos donde solo se efectúa la evaluación de parámetros de campo, como se indicó en capítulos previos, no se pudo realizar el monitoreo programado en las estaciones del proyecto PIASAA, debido a que no se contó con llaves para el acceso al lugar ya que no autoridad no estuvo presente. Por tanto, respecto a las captaciones de agua Sorgón Alto (S30C y S30D) y El Pedregal (S34B), los resultados obtenidos indican un pH ácido que excedió el ECA correspondiente. Estos valores de pH que excederían el ECA, estarían influenciados por la mineralización de la zona en donde se ubican. Por otro lado, los demás parámetros de campo, tales como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbidez cumplieron con la categoría 1-A1 de los ECA para los puntos evaluados.

- *Aguas Categoría 3:*

Se presentaron dos excedencias en pH en los puntos M2 y M21, 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 Chamcas y la Río Grande, guardarían relación a las propias características geológicas del lugar. Asimismo, en el punto M2, se detectó una concentración de cobre total que cumpliría el ECA categoría 3, pero que superaría el valor de referencia indicado en la categoría 4-E2 del ECA (Ríos). Este punto localizado en la Quebrada Kerosene se ubica alrededor de la zona mineralizada, lo cual explicaría la presencia de trazas de cobre.

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

En relación a los nueve (9) puntos donde solo se efectuó la evaluación de parámetros de campo, se presentaron valores de pH ligeramente ácidos que incumplirían la categoría 3 del ECA, en los puntos de muestreo S21D, S21E, S34A y M37, los cuales, por su ubicación y cercanía a la zona mineralizada, generan estos valores de acidez. El oxígeno disuelto, se encontró por debajo del valor de referencia indicado en los ECA, en los puntos S20B y S21B; 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 4.83 de pH, el cual se encuentra fuera del rango establecido en la categoría 4 del ECA. A excepción del pH, el agua de la muestra analizada presentó una buena calidad y cumplió todos los valores de referencia indicados en la categoría 4-E1 del ECA de agua.

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

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

- *Agua Subterránea:*

La muestra de agua subterránea analizada (P11) presentó una moderada a alta concentración de sólidos totales disueltos (250 mg/L) y una conductividad eléctrica de 426 µS/cm, esta relación denota aspectos característicos de aguas jóvenes poco mineralizadas. Estas aguas presentan un pH ligeramente alcalino (7.59) y una baja concentración de oxígeno disuelto (3.36 mg/L), lo cual es un indicador normal en aguas subterráneas.

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

- *Química del agua:*

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

- Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua se presentó en quince (15) estaciones de muestreo. En los puntos de evaluación: PIA-1, S12, S12A, S22C, S22, S23, S24T, M17 y M21, las muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (101 a 240 mg/L), una alcalinidad moderada a alta (71.6 a 203.8 mg CACO3/L) y un pH neutro a alcalino (6.59 a 8.48). Asimismo, esta agua bicarbonatada cálcica fue encontrada en los puntos M9B, M9C, M9D, S30A, S32A, M1 y M21B, pero con bajas concentraciones de STD (10 a 46 mg/L), baja alcalinidad (3.8 a 26.7 mg CACO3/L) y pH neutral a ligeramente ácido (5.68 – 7.88). 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 (23 mg/L), una alcalinidad nula, menor al límite de detección (<1 mg CACO3/L), y un pH ácido (4.29). 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 (250 mg/L), una elevada alcalinidad (209.5 mg CACO3/L), y un pH neutro (7.59). En estas aguas el anión predominante es marcadamente el bicarbonato y tiene como cationes predominantes al calcio y magnesio.

- 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 y magnesio. Presentan un pH ácido (4.83 a 6.73), alcalinidad nula (a excepción del punto M2 que presenta una concentración de 1.9 mg CACO3/L), baja concentración de STD (11 a 20 mg/L) y baja conductividad eléctrica (<31.6 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.