

PROYECTO EL GALENO

MONITOREO SEMESTRAL DE CALIDAD DE AGUA – TEMPORADA HÚMEDA 2018

INFORME ZONA II

Revisión B

Preparado para:

LUMINA COPPER S.A.C.



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

Preparado por:

ING. CECILIA PECHE BECERRA

CIP139912
Lima - Perú

LIMA, MARZO 2019

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Introducción	4
1.2	Participación de la población local	4
2	UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	5
2.1	Puntos de monitoreo con toma de muestra	5
2.2	Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo	6
3	METODOLOGÍA	7
3.1	Medición de parámetros in-situ	7
3.2	Medición de caudales	8
3.3	Muestreo para el análisis de laboratorio	8
3.4	Control de calidad	10
3.5	Estándares y guías aplicadas	11
3.6	Laboratorio de análisis	12
4	RESULTADOS EN PUNTOS CON TOMA DE MUESTRA	13
4.1	Aguas empleadas en consumo humano directo, Categoría 1-A1	13
4.1.1	Parámetros fisicoquímicos	13
4.1.2	Inorgánicos (Metales)	15
4.1.3	Microbiológicos y parasitológicos	16
4.2	Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3	17
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos	18
4.2.2	Inorgánicos (Metales)	20
4.2.3	Microbiológicos y parasitológicos	21
4.3	Evaluación Hidroquímica	22
5	RESULTADOS EN PUNTOS CON REGISTRO DE SOLO PARÁMETROS DE CAMPO	25
5.1	Aguas superficiales, Categorías 3 y 4	25
6	CONTROL DE CALIDAD	26
6.1	Duplicado de muestra	26
6.2	Blancos	27
6.2.1	Blanco de campo	27
6.2.2	Blanco viajero	27
6.3	Control de calidad de los resultados de laboratorio	27
6.3.1	Balance iónico	27

6.3.2	Revisión cruzada de parámetros	28
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
8	REFERENCIAS	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua	5
Tabla 2.2	Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo	6
Tabla 3.1	Listado de parámetros medidos en campo	7
Tabla 3.2	Parámetros fisicoquímicos registrados en campo	7
Tabla 3.3	Flujos registrados en campo	8
Tabla 3.4	Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría	9
Tabla 3.5	Listado de muestras de control de calidad	11
Tabla 3.6	Grupos de análisis de laboratorio	12
Tabla 4.1	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 1-A1	13
Tabla 4.2	Resumen de resultados de metales en aguas Categoría 1-A1	16
Tabla 4.3	Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1	17
Tabla 4.4	Resumen de resultados de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3	18
Tabla 4.5	Resumen de resultados de análisis de metales en aguas Categoría 3	21
Tabla 4.6	Resumen de resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 3	22
Tabla 4.7	Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)	22
Tabla 4.8	Iones principales y tipos de agua	23
Tabla 5.1	Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4	25
Tabla 6.1	Criterios de análisis de balance iónico	28
Tabla 6.2	Balance iónico	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Distribución de las muestras programadas y efectuadas según zona y categoría	6
Figura 3.1	Procedimiento de muestreo	9
Figura 4.1	Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1	14
Figura 4.2	Clasificación de las aguas Categoría 1-A1 según su dureza, pH, STD y alcalinidad	15
Figura 4.3	Parámetros microbiológicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1	17
Figura 4.4	Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3	19
Figura 4.5	Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad	19

Figura 4.6 Diagrama Piper	23
Figura 4.7 Clasificación hidroquímica.....	24
Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado	26

LISTA DE MAPAS

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

LISTA DE ANEXOS

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

1 Introducción

1.1 Introducción

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

El presente informe muestra los resultados de la ronda de monitoreo semestral de calidad de aguas correspondiente a la temporada húmeda 2018 en la denominada Zona II. El área de trabajo corresponde a la quebrada Chanche. Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo A, mientras que el Anexo B presenta la memoria fotográfica.

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

Los parámetros analizados corresponden a aquellos regulados por el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, en concordancia con los estándares de calidad ambiental para agua (ECA) empleados en el instrumento de gestión ambiental vigente del proyecto. Los resultados han sido comparados con dichos ECA y de manera adicional se ha incluido una comparación referencial con los ECAs del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.

1.2 Participación de la población local

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

- Sr. Jaime Llanos Salazar.
- Sr. Manuel Salazar Llanos.
- Sr. Hipólito Yupanqui Sánchez.
- Sr. Edwin Chávez Cortez
- Sr. Nando Miranda Miranda.

Participaron los siguientes pobladores y/o autoridades locales:

- 28 de noviembre de 2018. En el monitoreo del punto M26A estuvo presente el Sr. Marcos Chuquimango Guevara, teniente gobernador del caserío de Quengomayo.

En el Anexo B se presenta la memoria fotográfica de los trabajos desarrollados y en el Anexo C las actas de participación debidamente firmadas.

2 Ubicación de puntos de monitoreo

2.1 Puntos de monitoreo con toma de muestra

La Tabla 2.1 muestra el listado de puntos de monitoreo en los cuales se efectuó toma de muestras para el análisis de laboratorio, así como registro de parámetros de campo.

Tabla 2.1 Listado de puntos de monitoreo de calidad de agua

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
M14	797450	9228856	3824	ACD escuela Santa Rosa de Milpo	1-A1	Si
S33	800018	9226342	3513	ACD en El Punre	1-A1	Si
M24A	800308	9225830	3002	Qda. Milpo (Chanche)	3 y 4	Si
M26A	801460	9226894	3575	Qda. Quengomayo	3 y 4	Si
M38	798130	9227056	3745	Qda. Quinuacucho	3 y 4	Si
M8	797238	9227678	3774	Qda. Milpo	3 y 4	Si
PA02	797328	9228764	3895	Pasivo ambiental cerrado	-	<u>Seco</u>
PA04	797240	9228804	3930	Afloramiento en cerro Hilorrico	3 y 4	Si

Nota: ACD = agua para consumo doméstico.

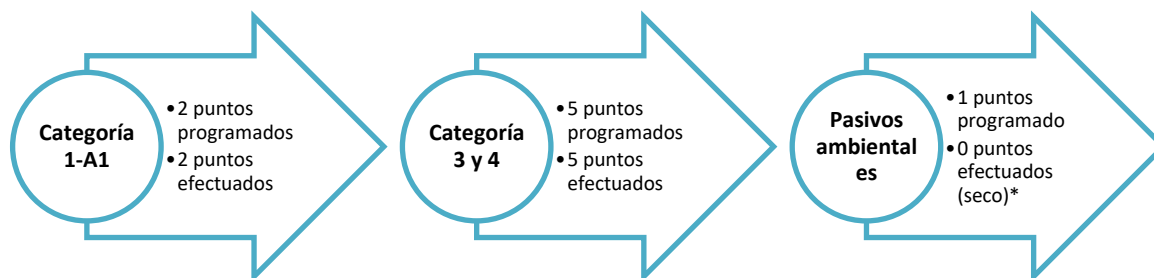
De los puntos de monitoreo con toma de muestra programados para la presente ronda, no fue posible obtener una muestra en los siguientes casos:

- Punto PA-02. Pasivo ambiental en Santa Rosa Milpo. El pasivo, corresponde a un botadero de desmonte actualmente cerrado y revegetado. El área no presenta efluentes aun cuando se tuvo presencia de lluvias.

Con respecto a los puntos monitoreados, se puede indicar lo siguiente:

- Punto M14. Se trata de un manantial que aflora en Santa Rosa de Milpo del cual se abastece la escuela del mismo caserío. Se efectuó toma de muestra, registro de parámetros de campo y aforo volumétrico.
- Punto PA-04. Afloramiento en el cerro Hilorrico. Se ubica aguas abajo de una antigua bocamina ya cerrada (pasivo # 30 en el listado de Lumina). Se efectuó toma de muestra, registro de parámetros de campo y aforo volumétrico.
- Punto M26A. Ubicado en la localidad de Quengomayo, en el cruce de la carretera con la quebrada del mismo nombre. La muestra se tomó aguas abajo del cruce con la carretera.
- Punto M24A. Ubicado en la quebrada Chanche, aguas abajo de la confluencia de las quebradas Milpo y La Boya, al lado de la piscigranja.
- Punto S33. Reservorio para consumo doméstico de la localidad de El Punre. El agua ingresa sin protección hacia el tanque y al parecer no recibe mantenimiento.
- Punto M38. Ubicado en la quebrada Quinuacucho, inmediatamente aguas abajo del cruce de la quebrada con la trocha carrozable hacia la localidad de El Punre. Es de notar que en la zona alta de la quebrada se ha instalado una operación de minería informal.
- Punto M8. Ubicado en el canal de salida de la laguna Milpo, aproximadamente 10 metros aguas abajo de la carretera que cierra la laguna.

Figura 2.1 Distribución de las muestras programadas y efectuadas según zona y categoría



* PA-02 seco.

2.2 Puntos de monitoreo con solo registro de parámetros de campo

La Tabla 2.2 muestran el listado de puntos de monitoreo en los que se efectuó el registro de solo parámetros de campo.

Tabla 2.2 Listado de puntos de registro de solo parámetros de campo

Punto	Este	Norte	Altitud	Descripción	Categoría	Efectuado
M13	797492	9228747	3820	Manantial en Milpo	3	Si
M35	798626	9227486	3695	Reservorio Muyo	3 y 4-E1	Si

Con respecto a los puntos monitoreados, se puede indicar lo siguiente:

- Punto M35. Ubicado en la orilla del embalse Muyo. Este cuerpo de agua es de tipo artificial y sus aguas son empleadas para riego y bebida de animales, principalmente de la población de El Punre y Santa Rosa de Milpo.
- Punto M13. Se trata de un manantial que aflora en Santa Rosa de Milpo empleado con fines de riego. Solo se presentó un afloramiento somero por lo cual no fue posible obtener un volumen mínimo para efectuar un aforo. Se registró parámetros de campo.

3 Metodología

3.1 Medición de parámetros in-situ

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

Tabla 3.1 Listado de parámetros medidos en campo

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

La tabla siguiente muestra los parámetros de campo registrados:

Tabla 3.2 Parámetros fisicoquímicos registrados en campo

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Potencial de óxido reducción (mV)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
PA-04	3.617	154.5	78.07	110.2	5.98	10.693	0.5
PA-02	seco	-	-	-	-	-	-
M14	7.32	122.7	61.92	51.81	5.978	11.67	0.1
M13	6.806	37.1	18.73	43.43	5.516	13.078	14.1
M38	4.141	47.27	23.87	163.3	4.765	9.278	9.89
M26A	8.385	218.8	110.4	99.7	7.31	13.862	3.13

Punto	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Potencial de óxido reducción (mV)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)
M24A	8.567	147.1	74.25	88.55	7.669	12.924	5.68
S33	8.066	320.5	161.8	74.7	6.79	12.293	1.35
M35	8.925	257.8	130.1	40.9	13.3	16.98	2.86
M8	4.56	21.15	10.675	136.2	5.845	15.75	0.4

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 correntómetro. Este método fue empleado para cuantificar el flujo de ríos y quebradas de mediano caudal, con un tirante suficiente para la manipulación del equipo.

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

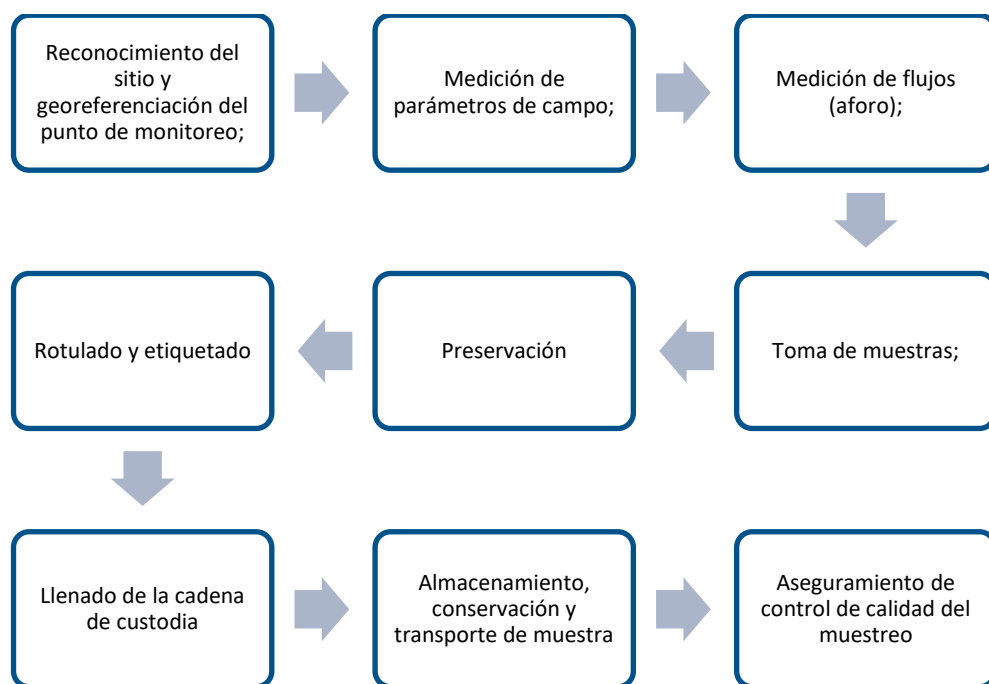
Tabla 3.3 Flujos registrados en campo

Punto	Caudal (L/s)	Método	Observación
PA-04	1.13	Volumétrico	
PA-02	0.00	Seco	Pasivo cerrado. El área no produce flujo.
M14	8.29	Volumétrico	
M13	-	No aforado	Afloramiento somero. No es posible aforar.
M38	13.46	Área - Velocidad	
M26A	159.30	Área - Velocidad	
M24A	1522.85	Área - Velocidad	
S33	1.18	Volumétrico	
M35	-	No aforado	Embalse
M8	250.75	Área - Velocidad	

3.3 Muestreo para el análisis de laboratorio

El procedimiento de muestreo seguido durante el presente monitoreo ha sido acorde a lo indicado en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA), el mismo que se resume a continuación:

Figura 3.1 Procedimiento de muestreo



Además de los parámetros de campo, se han registrado los siguientes datos:

- Nombre de la persona que tomó la muestra;
- Fecha, hora y cualquier condición especial;
- Condiciones climatológicas;
- Condición del punto de muestreo;
- Coordenadas y altitud del punto de muestreo;
- Nombre de la muestra;
- Parámetros que deben analizarse para cada muestra;
- Tipo y cantidad de preservantes añadidos (en etiqueta y cadena de custodia); y
- Una fotografía del lugar de la toma de muestras.

El Anexo E presenta las fichas de información de campo.

Los parámetros de monitoreo para el análisis de laboratorio de calidad de agua son mostrados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Listado de parámetros de monitoreo de calidad de agua según categoría

Categoría	1-A1	3 y 4	Bk campo	Bk viajero
Aceites y Grasas	x	x		
Alcalinidad Total	x	x		
Amoniaco (NH3)		x		
Aniones por Cl (toda la suite)	x	x	x	x
Cianuro Libre		x		
Cianuro Total	x	x		

Cianuro Wad		x		
Clorofila A				
Coliformes Fecales	x	x		
Coliformes Totales	x	x		
Color Verdadero	x	x		
Conductividad	x	x		
Cromo Hexavalente		x		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	x	x		
Demanda Química de Oxígeno	x	x		
Detergentes		x		
Dureza Total	x			
Enterococos Fecales		x		
Escherichia coli	x	x		
Fenoles	x	x		
Fósforo Total	x	x		
Huevos de Helminthos		x		
Metales disueltos	x	x	x	x
Metales totales	x	x	x	x
Microcistina LR	x			
Nitrógeno Amoniacal (NH3-N)	x			
Nitrógeno Total				
Organismos de Vida Libre	x			
Parásitos Protozoarios	x			
pH (Laboratorio)	x	x		
Sólidos Totales Disueltos	x	x		
Sólidos Totales Suspendidos	x	x		
Sulfuros		x		
Turbidez	x	x		
Vibrio Cholerae	x			
Bacterias heterotróficas				x

Nota: PA = pasivo ambiental

3.4 Control de calidad

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

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

Para garantizar, o por lo menos cuantificar, la precisión de los métodos de muestreo de campo y resultados analíticos se ha considerado la toma de muestras de control de calidad. Las muestras de control de calidad han sido establecidas conforme se especifica en el ítem 6.17 del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA):

Tabla 3.5 Listado de muestras de control de calidad

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

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

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

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

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

3.5 Estándares y guías aplicadas

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

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, del 11 de enero del 2016. El protocolo permite dar pautas de cómo se realiza la toma de muestra, preservación, conservación, transporte de muestras y el aseguramiento de la calidad para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.
- Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 21 de agosto del 2010.
- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 19 de diciembre de 2015. En dicho estándar se establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua. Los resultados de aquellos puntos cuyo monitoreo se efectúa en cumplimiento de los compromisos del instrumento de gestión ambiental (IGA) del proyecto, han sido comparados con este estándar.

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, publicado en el diario oficial El Peruano el 07 de junio del 2017. Estos ECA para agua han sido empleados de manera referencial.

3.6 Laboratorio de análisis

Se ha empleado como laboratorio de análisis a Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. - CORPLAB, el cual se encuentra acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación del Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), por lo cual los informes de ensayo cuentan con valor oficial. Los informes de ensayo de laboratorio son presentados en el Anexo G.

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

Tabla 3.6 Grupos de análisis de laboratorio

Grupo	Puntos
68403/2018	PA-04, M14
68962/2018	M26A, M24A, S33, M38, M8

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

4 Resultados en puntos con toma de muestra

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

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para el año 2018 incluye la toma de muestra en 2 puntos con Categoría 1-A1 (véase Tabla 2.1). Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, y de manera referencial con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Ambos ECA tienen los mismos valores.

4.1.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.1 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas empleadas para consumo humano directo ubicados en la Zona II (puntos M14 y S33). La Tabla A.1 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

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

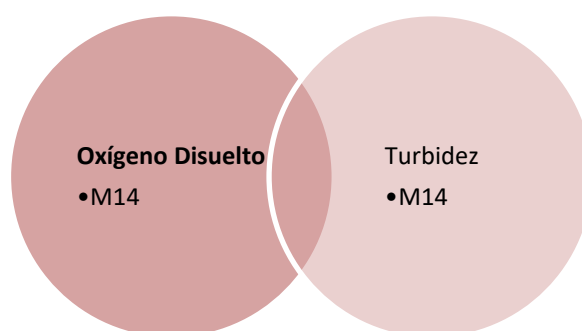
Punto	Unidades	M14	S33
Conductividad	uS/cm	122.7	320.5
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.978	6.79
pH	Unidades pH	7.32	8.07
Potencial de óxido reducción POR	mV	51.81	74.7
Temperatura	°C	11.67	12.293
Turbidez	NTU	0.1	1.35
Materiales flotantes	-	Ausencia	Ausencia
Caudal	(L/s)	8.29	1.18
Aceites y Grasas	mg/L	nd	nd
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	55	185.2
Cianuro Total	mg/L	nd	nd
Color Verdadero	UC	8	< 1
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	124	335
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	nd	nd
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	nd	nd
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	57.7	196.5
Fenoles	mg/L	nd	nd
Fósforo Total	mg P/L	0.02	0.029
Nitrógeno Amoniacal (Amoniacal-N)	mg NH ₃ -N/L	0.012	0.007
pH (Laboratorio)*	Unidades pH	7.76	7.96
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	82	194
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	5	nd
Turbidez (Laboratorio)	NTU	20.1	0.9
Cloruros. Cl-	mg/L	0.083	0.14
Bromuro. Br-	mg/L	nd	nd
Fluoruros. F-	mg/L	0.031	0.04

Punto	Unidades	M14	S33
Fosfatos. PO ₄ -3	mg/L	nd	nd
Nitratos. NO ₃ -	mg/L	0.297	0.895
Nitritos. NO ₂ -	mg/L	nd	nd
Sulfatos. SO ₄ -2	mg/L	9.245	2.045

nd = no detectado

Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), fenoles, material flotante, bromuros, fosfatos, ni nitritos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 1-A1. Las concentraciones de nitratos variaron de 0.297 a 0.895 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. El único punto que registró sólidos totales suspendidos (STS) fue M14. Los valores de turbidez de laboratorio varían de 0.9 a 20.1 NTU. El mayor valor (20.1 NTU) se presentó en el punto M14, lo cual es consistente con la presencia de STS. El oxígeno disuelto registró un valor ligeramente inferior al valor mínimo establecido por los ECA para agua en el punto M14.

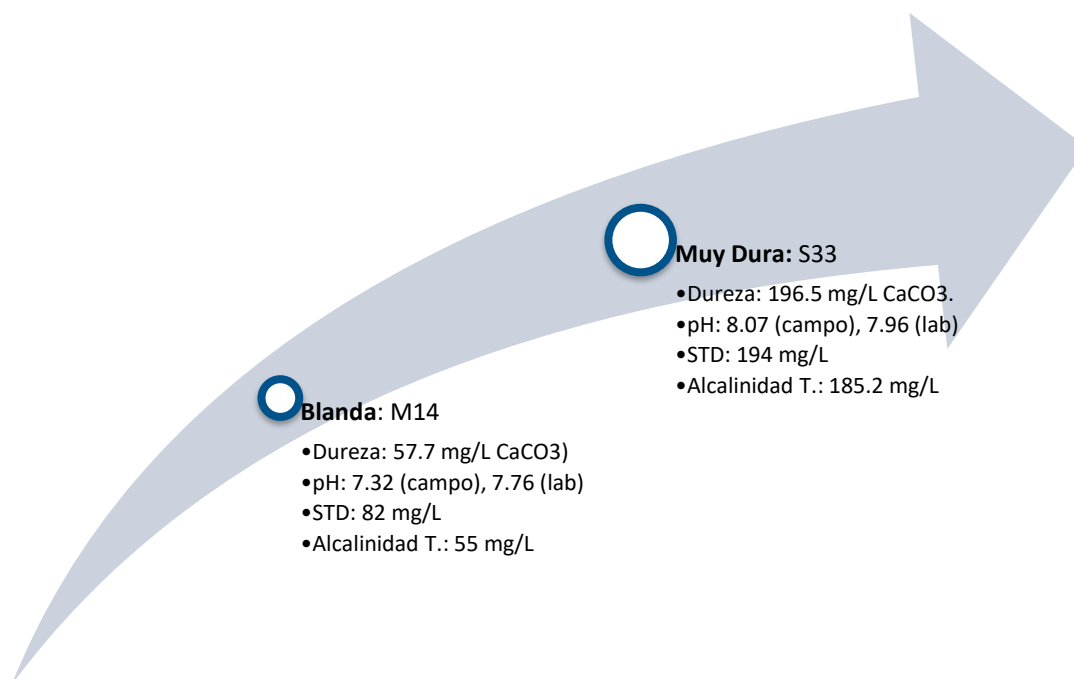
Figura 4.1 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1



El pH mostró una buena correlación entre los valores medidos en campo (de 7.32 a 8.07) y laboratorio (de 7.76 a 7.96). Asimismo, existe buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 122.7 y 320.5 μ S/cm, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 124 y 335 μ S/cm. Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad (también medida en laboratorio) con una razón promedio de 0.62. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 82 y 194 mg/L. La alcalinidad fue moderada (55 mg/L) en el punto con pH circum-neutral (M14). En el punto S33 fue alta, con un valor de 185.2 mg/L.

La alcalinidad, conductividad, dureza y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo (véase Figura 4.2). 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 varía de blanda (M14) a muy dura (S33).

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



Las concentraciones de sulfato varían entre 2.045 y 9.245 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras de la Categoría 1-A1 aunque sin llegar a ser el anión predominante (en ambas muestras el anión predominante fue el bicarbonato). Las concentraciones de cloruros varían de 0.083 a 0.14 mg/L, mientras que las concentraciones de fluoruros varían de 0.031 a 0.04 mg/L. En ninguno de los casos se excedieron los ECA para la categoría 1-A1.

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito se presentaron por debajo del límite de detección analítico del laboratorio en todos los puntos. Las concentraciones de nitratos (como NO₃) variaron de 0.297 a 0.895 mg/L, sin presentar una tendencia espacial específica. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron en general bajas (de 0.007 a 0.012 mg/L).

4.1.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.2 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 1-A1. Las muestras de agua en el área exhiben la presencia de diversos metales. Los metales que fueron detectados en ambas muestras son: arsénico, bario, calcio, estroncio, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, potasio, silicio y sodio. No se registraron valores detectables de antimonio, berilio, bismuto, boro, cadmio, estaño, litio, mercurio, plata, selenio, talio y vanadio.

El metal más abundante es el calcio con valores de 22.3 a 74.09 mg/L. Le sigue en importancia el silicio, magnesio, sodio y potasio (concentraciones mayores que 1 mg/L). Solo el hierro total excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en el punto M14.

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

Parámetro	Unidad	M14		S33	
		Totales	Disueltos	Totales	Disueltos
Aluminio (Al)	mg/L	0.601	nd	nd	nd
Antimonio (Sb)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Arsénico (As)	mg/L	0.00269	0.00049	0.00101	0.00101
Bario (Ba)	mg/L	0.0174	0.0134	0.0089	0.0088
Berilio (Be)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Bismuto (Bi)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Boro (B)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Cadmio (Cd)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Calcio (Ca)	mg/L	22.3	22.3	74.09	74.09
Cobalto (Co)	mg/L	0.00085	nd	nd	nd
Cobre (Cu)	mg/L	0.00172	0.0004	nd	nd
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	nd	nd	nd
Estaño (Sn)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0408	0.0407	0.0804	0.0804
Fosforo (P)	mg/L	0.043	nd	0.049	0.03
Hierro (Fe)	mg/L	0.5584	nd	0.0084	nd
Litio (Li)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Magnesio (Mg)	mg/L	0.54	0.444	2.384	2.384
Manganeso (Mn)	mg/L	0.08128	0.00205	0.00116	nd
Mercurio (Hg)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Molibdeno (Mo)	mg/L	nd	nd	0.00024	0.00024
Níquel (Ni)	mg/L	0.0018	0.0004	nd	nd
Plata (Ag)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Plomo (Pb)	mg/L	0.0014	nd	nd	nd
Potasio (K)	mg/L	1.22	1.16	0.19	0.18
Selenio (Se)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Silicio (Si)	mg/L	4.5	3.8	1.7	1.7
Sodio (Na)	mg/L	0.185	0.185	0.189	0.189
Talio (Tl)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Titanio (Ti)	mg/L	0.006	nd	nd	nd
Uranio (U)	mg/L	nd	nd	0.000245	0.000211
Vanadio (V)	mg/L	nd	nd	nd	nd
Zinc (Zn)	mg/L	0.0545	0.0207	nd	nd

nd = no detectado

4.1.3 Microbiológicos y parasitológicos

La Tabla 4.3 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros microbiológicos y bacteriológicos. El conteo de coliformes totales y termotolerantes, así como *Escherichia coli*, excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en ambos puntos de monitoreo (S33, M14).

No se detectó la presencia de *Vibrio cholerae*, microcistina LR, ni parásitos y protozoarios. Los organismos de vida libre estuvieron presentes en ambos puntos de monitoreo excediendo los ECA. En los 2 en forma de algas, y solo en M14 en forma de nemátodos y protozoarios.

Figura 4.3 Parámetros microbiológicos que exceden los ECA para la Categoría 1-A1

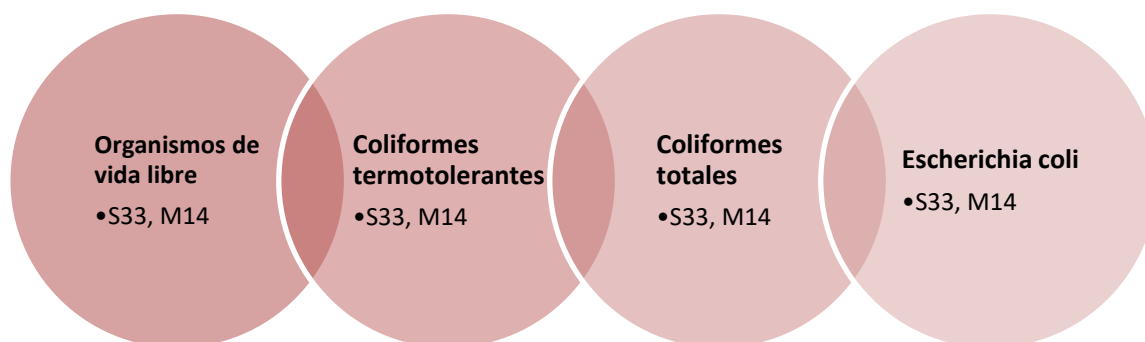


Tabla 4.3 Resultados de parámetros microbiológicos en aguas Categoría 1-A1

Parámetro	Unidad	M14	S33
Organismos de Vida Libre, Algas	N° Organismo/L	48	20
Organismos de Vida Libre, Copépodos	N° Organismo/L	nd	nd
Organismos de Vida Libre, Nemátodos	N° Organismo/L	5	nd
Organismos de Vida Libre, Protozoarios	N° Organismo/L	6	nd
Organismos de Vida Libre, Rotíferos	N° Organismo/L	nd	nd
Organismos de Vida Libre	N° Organismo/L	59	20
Quistes - Amebas - Endolimax nana	Quistes/L	nd	nd
Quistes - Amebas - Entamoeba histolytica	Quistes/L	nd	nd
Quistes - Amebas - Entamoeba coli	Quistes/L	nd	nd
Quistes - Amebas - Giardia sp.	Quistes/L	nd	nd
Quistes - Amebas - Iodamoeba sp.	Quistes/L	nd	nd
Quistes - Amebas - Chilomastix sp.	Quistes/L	nd	nd
Quistes - Ciliados - Balantidium coli	Quistes/L	nd	nd
Ooquiste - Coccidia - Isospora sp	Ooquistes/L	nd	nd
Quistes y Ooquistes de Protozoarios	Org/L	nd	nd
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	220	790
Coliformes Totales	NMP/100 mL	1300	790
Escherichia coli	NMP/100 mL	79	110
Vibrio cholerae	A/P/L	Ausencia	Ausencia
Microcistina LR	mg/L	nd	nd

nd = no detectado

4.2 Aguas Superficiales en ríos y quebradas, Categoría 3

Tal como se mencionó previamente, el programa de monitoreo semestral de LC para junio del 2018 incluye la toma de muestra en 5 puntos con Categoría 3 (véase Tabla 2.1). Los resultados han sido comparados con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, y de manera referencial con los ECA establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. La Tabla A.2 del Anexo A presente el detalle de los resultados de análisis de laboratorio.

4.2.1 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.4 muestra un resumen de los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos en aguas Categoría 3. De manera referencial los resultados de este grupo de muestras han sido comparados también con el ECA Categoría 4 (ríos y quebradas de la sierra).

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

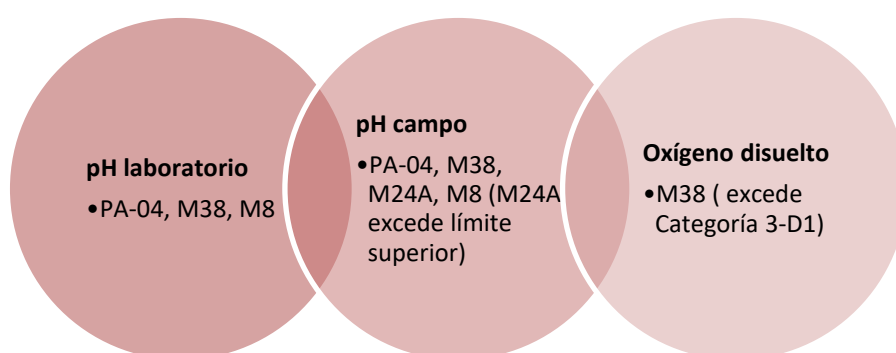
Parámetros	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Conductividad	uS/cm	5	21.15	218.8	
Oxígeno disuelto	mg/L	5	4.765	7.669	1
pH	Unidades pH	5	3.617	8.567	4
Potencial de óxido reducción POR	mV	5	88.55	163.3	
Temperatura	°C	5	9.278	15.75	
Turbidez	NTU	5	0.4	9.89	
Caudal	L/s	5	1.13	1522.8	
Aceites y Grasas	mg/L	0	nd	nd	
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	2	75.2	122.1	
Bicarbonato	mg HCO ₃ -/L	2	74.7	120.2	
Amoniaco	mg NH ₃ /L	5	0.017	0.084	
Cianuro Libre	mg/L	0	nd	nd	
Cianuro Total	mg/L	4	0.001	0.001	
Cianuro Wad	mg/L	0	nd	nd	
Color Verdadero	UC	1	4	4	
Conductividad (Laboratorio)	uS/cm	5	26.1	222.6	
Cromo Hexavalente	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	0	nd	nd	
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	2	6	9	
Detergentes Aniónicos	mg/L	1	0.12	0.12	
Fenoles	mg/L	0	nd	nd	
Fósforo Total	mg P/L	4	0.008	0.03	
pH (Laboratorio)	Unidades pH	5	3.6	8.17	3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	5	15	141	
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	3	3	10	
Sulfuros	mg/L	0	nd	nd	
Turbidez (Laboratorio)	NTU	5	1.3	7.6	
Cloruros, Cl-	mg/L	3	0.095	0.242	
Bromuro, Br-	mg/L	0	nd	nd	
Fluoruros, F-	mg/L	3	0.013	0.043	
Fosfatos, PO ₄ -3	mg PO ₄ -3/L	0	nd	nd	
Fosfatos (como P)	mg PO ₄ -3-P/L	0	nd	nd	
Nitratos, NO ₃ -	mg NO ₃ -/L	4	0.035	0.322	
Nitratos, (como N)	mg NO ₃ -N/L	4	0.008	0.073	
Nitritos, NO ₂ -	mg NO ₂ -/L	0	nd	nd	
Nitritos, (como N)	mg NO ₂ -N/L	0	nd	nd	
Sulfatos, SO ₄ -2	mg SO ₄ -2/L	5	1.197	25.66	

nd = no detectado

Como se puede observar, no se detectaron valores de aceites y grasas, cianuro libre, cianuro WAD, cromo hexavalente, DBO₅, fenoles, sulfuros, bromuros, fosfatos, ni nitritos en ninguno de los puntos de monitoreo de Categoría 3.

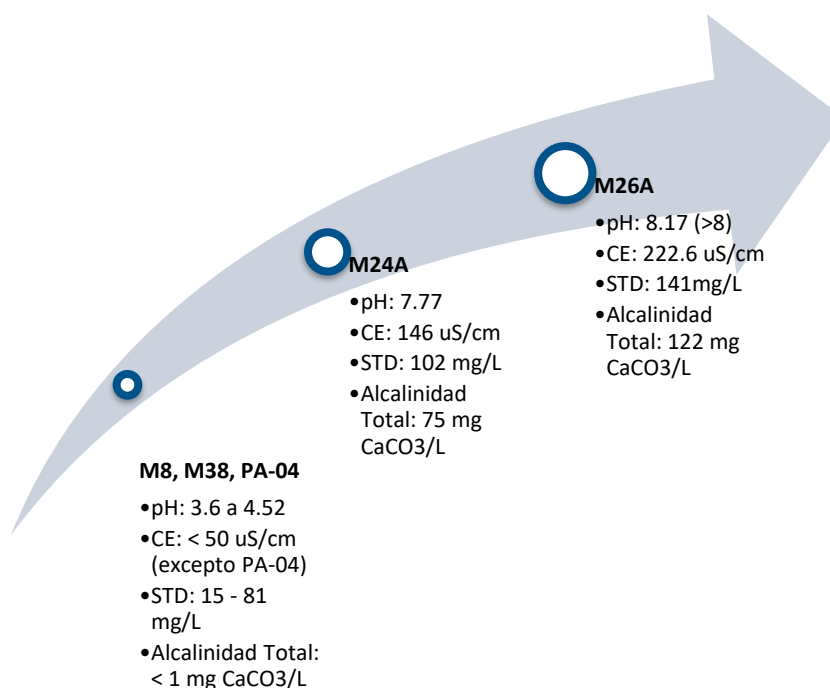
Los valores de pH registrados en campo variaron entre 4.06 y 8.62, mientras que los valores obtenidos en laboratorio fueron ligeramente más bajos y variaron entre 3.617 y 8.567. Los puntos M8, M38 y PA-04 presentaron valores de campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1, mientras que el punto M24A presentó un valor de pH, registrado en campo, superior al valor máximo del ECA Categoría 3-D2. El oxígeno disuelto se presentó por debajo del límite inferior para la categoría 3-D1 en el punto M38.

Figura 4.4 Parámetros físico - químicos que exceden los ECA para la Categoría 3



La alcalinidad, conductividad, y concentración de sólidos totales disueltos mostraron una tendencia similar en función de la ubicación de los puntos de monitoreo (ver Figura 4.5).

Figura 4.5 Clasificación de las aguas Categoría 3 según su pH, CE, STD y alcalinidad



Los valores de alcalinidad total fueron menores en las zonas altas, más cercanas al área del proyecto El Galeno y se incrementaron conforme las aguas discurren hacia aguas abajo. La alcalinidad fue considerada baja (valores menores a 50), en los puntos que presentaron un pH ácido (pH de 3.6 a 4.52), e intermedia en aquellos puntos que presentaron pH entre 7 y 8. En el resto de los puntos fue clasificada como alta, con un valor de 122 mg/L para valores de pH mayores que 8. El punto PA-04 es de similares características que el primero grupo: baja alcalinidad total y bajo pH pero con moderados valores de conductividad eléctrica y STD. Esto puede ser debido a que se ubica directamente en la zona mineralizada de Hilorico.

Existe una muy buena concordancia entre los valores de conductividad eléctrica registrados en campo y los correspondientes resultados de laboratorio. Los valores de conductividad registrados en campo varían entre 21.15 y 218.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los resultados de laboratorio varían entre 26.1 y 222.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las concentraciones de STD medidos en laboratorio guardan una excelente correlación con la conductividad ($r^2 = 0.97$) con una razón promedio de 0.64. Los resultados de los análisis de laboratorio indicaron valores de STD entre 15 y 141 mg/L. De manera similar a lo ocurrido con la alcalinidad total y conductividad eléctrica, los menores valores de STD se presentaron en aquellos puntos con pH más ácido.

En cuanto los nutrientes, las concentraciones de nitrito se presentaron por debajo del límite de detección analítico del laboratorio en todos los puntos. Las concentraciones de nitratos variaron de 0.008 a 0.073 mg/L (como N), sin presentar una tendencia espacial específica.

Las concentraciones de sulfato varían entre 1.197 y 25.66 mg/L. Estuvo presente en todas las muestras y fue el anión principal en 3 de los puntos (PA-04, M38, M8). Las concentraciones de cloruros y fluoruros no presentaron una tendencia espacial en particular. Las concentraciones de cloruros varían de 0.095 a 0.242 mg/L, mientras que las concentraciones de fluoruros varían de 0.013 a 0.043 mg/L. En ninguno de los casos se excedieron los ECA para la Categoría 3 o Categoría 4.

4.2.2 Inorgánicos (Metales)

La Tabla 4.5 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a metales totales y metales disueltos para las aguas de Categoría 3.

Aluminio, bario, calcio, estroncio, magnesio, manganeso, potasio y silicio estuvieron presentes en todos los puntos de monitoreo. El hierro y el sodio fueron detectados en 4 puntos de monitoreo. No se detectó la presencia de berilio total y disuelto, bismuto disuelto, boro disuelto, cromo total y disuelto, estaño total y disuelto, litio total y disuelto, mercurio total y disuelto, molibdeno total y disuelto, plata disuelta, selenio total y disuelto, titanio disuelto y uranio disuelto. El metal más abundante es el calcio, con valores de 0.23 a 45.72 mg/L en su forma total. Le sigue en importancia el silicio, magnesio, potasio y sodio. Solo el plomo total y disuelto excedió los ECA para agua en esta categoría en el punto PA-04.

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

Parámetro	Metales Totales			Metales Disueltos		
	# puntos detectados	Mínimo	Máximo	# puntos detectados	Mínimo	Máximo
Aluminio (Al)	5	0.09	2.336	5	0.019	2.208
Antimonio (Sb)	3	0.00026	0.00176	2	0.00021	0.00026
Arsénico (As)	5	0.00041	0.01418	5	0.00032	0.00125
Bario (Ba)	5	0.0062	0.0168	5	0.0062	0.0157
Berilio (Be)	0	nd	nd	0	nd	nd
Bismuto (Bi)	1	0.00065	0.00065	0	nd	nd
Boro (B)	1	0.004	0.004	0	nd	nd
Cadmio (Cd)	1	0.00186	0.00186	1	0.00186	0.00186
Calcio (Ca)	5	0.23	45.72	5	0.22	44.91
Cobalto (Co)	4	0.00029	0.00497	3	0.00078	0.00497
Cobre (Cu)	4	0.02386	0.08528	4	0.00789	0.08393
Cromo (Cr)	0	nd	nd	0	nd	nd
Estaño (Sn)	0	nd	nd	0	nd	nd
Estroncio (Sr)	5	0.0033	0.0957	5	0.0033	0.0935
Fosforo (P)	1	0.046	0.046	1	0.024	0.024
Hierro (Fe)	5	0.1275	2.179	4	0.0098	0.8412
Litio (Li)	0	nd	nd	0	nd	nd
Magnesio (Mg)	5	0.046	1.497	5	0.044	1.481
Manganeso (Mn)	5	0.01106	0.04258	4	0.00023	0.04069
Mercurio (Hg)	0	nd	nd	0	nd	nd
Molibdeno (Mo)	0	nd	nd	0	nd	nd
Níquel (Ni)	3	0.0006	0.0046	3	0.0006	0.0046
Plata (Ag)	1	0.00068	0.00068	0	nd	nd
Plomo (Pb)	3	0.0004	0.0863	1	0.0756	0.0756
Potasio (K)	5	0.05	1.72	4	0.21	1.6
Selenio (Se)	0	nd	nd	0	nd	nd
Silicio (Si)	5	0.7	10.3	5	0.7	6.5
Sodio (Na)	4	0.089	1.171	4	0.089	1.171
Talio (Tl)	1	0.0102	0.0102	1	0.00994	0.00994
Titanio (Ti)	2	0.0013	0.0015	0	nd	nd
Uranio (U)	1	0.000178	0.000178	0	nd	nd
Vanadio (V)	1	0.0002	0.0002	1	0.0002	0.0002
Zinc (Zn)	3	0.0115	0.3019	2	0.0159	0.3019

nd: no detectado

4.2.3 Microbiológicos y parasitológicos

La Tabla 4.6 presenta un resumen de los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros microbiológicos y bacteriológicos en aguas Categoría 3. Los resultados mostrados en la tabla han sido comparados con los valores establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

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

Parámetro	Unidad	# puntos detectados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Excede ECA
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	2	6.8	22	
Coliformes Totales	NMP/100 mL	5	2	220	
Enterococos Fecales	NMP/100 mL	0	nd	nd	
Escherichia coli	NMP/100 mL	2	2	7.8	
Huevos de Helmintos	Huevos/L	0	0	0	

nd = no detectado

No se detectó la presencia de huevos de helmintos ni enterococos fecales en ningún punto de monitoreo. Fueron detectados coliformes totales, coliformes termotolerantes y E. Coli pero sin exceder los ECA Categoría 3.

4.3 Evaluación Hidroquímica

La Tabla 4.7 presenta las concentraciones de cationes y aniones principales detectados en los puntos de monitoreo de aguas naturales, expresados como miliequivalente. Con fines de complementar el balance iónico se ha incluido el aluminio (Al^{+3}) en la lista de cationes principales, y en el caso de los aniones se han incluido fluoruros (F^-) y nitratos (NO_3^{-2}). Esto debido a que dichos iones han sido detectados en importante porcentaje con respecto al resto.

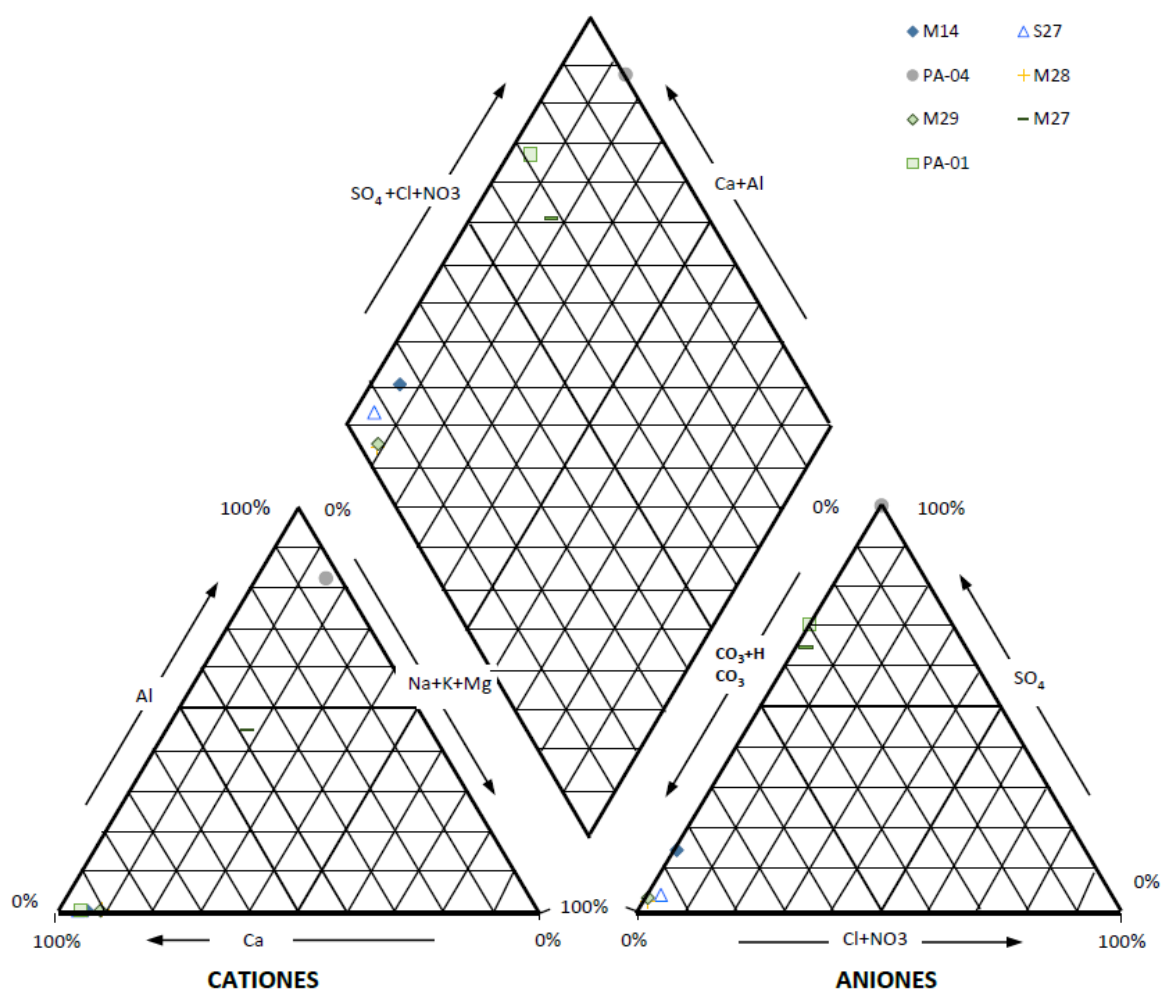
Tabla 4.7 Concentraciones de aniones y cationes principales (meq/L)

Punto	HCO_3^-	CO_3^{-2}	Cl^-	F^-	SO_4^{-2}	NO_3^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	Al^{+3}
M14	1.09	0.01	0.00	0.00	0.19	0.00	1.12	0.04	0.03	0.01	0.00
S33	3.67	0.03	0.00	0.00	0.04	0.01	3.70	0.20	0.00	0.01	0.00
PA-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.25
M26A	2.40	0.04	0.01	0.00	0.02	0.01	2.25	0.12	0.01	0.05	0.00
M24A	1.49	0.01	0.01	0.00	0.08	0.00	1.42	0.08	0.01	0.02	0.00
M38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.10
M8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02

Nota: HCO_3^- bicarbonato, CO_3^{-2} carbonato, Cl^- cloruros, F^- fluoruros, SO_4^{-2} sulfatos, NO_3^- nitratos, Ca^{+2} calcio, Mg^{+2} magnesio, K^+ potasio, Na^+ sodio, Al^{+3} aluminio. Todas las concentraciones son mostradas en miliequivalentes/L (meq/L.).

Se utilizó el diagrama de Piper (Figura 4.6) con el objeto de mostrar los tipos químicos de agua detectados en el área de estudio. Este diagrama consiste en dos triángulos equiláteros (en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones), complementados con un rombo ubicado entre la porción superior de los triángulos (Appelo y Postma, 2005). En el campo triangular izquierdo se grafica el porcentaje de los valores de los tres grupos de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). De forma similar, en el campo triangular derecho, se grafican como un punto singular el grupo de los aniones (HCO_3^- , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} , NO_3^- y Cl^-). El diamante central es usado para mostrar todo el carácter químico del agua como un tercer punto.

Figura 4.6 Diagrama Piper



El calcio es el catión predominante en 4 de 7 muestras, con un promedio de 94% de la carga catiónica total (CCT). En uno de los puntos se presenta como catión principal en compañía del aluminio, representando el 25% de la CCT. El aluminio se presentó como catión predominante en dos de las muestras de agua superficial, con el 71% de la CCT.

De manera similar, el bicarbonato representa promedio el 93% de la carga aniónica total (CAT) en 4 de 7 muestras de agua. En los otros 3 puntos el anión predominante es el sulfato con un promedio de 99% de la CAT.

Tabla 4.8 Iones principales y tipos de agua

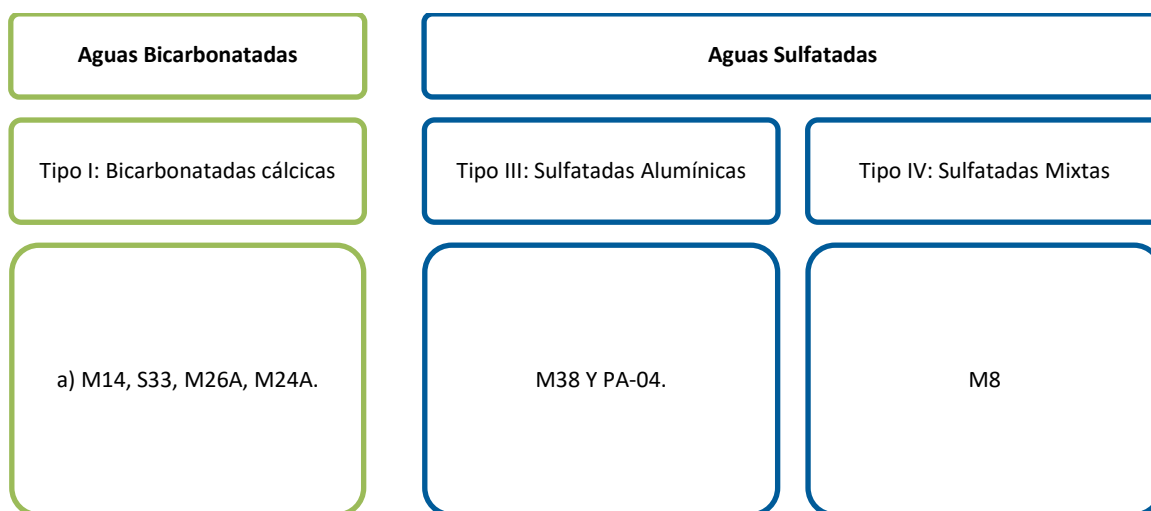
Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
M14	7.76	55.00	124.0	82.0	Ca	HCO3	Tipo I
S33	7.96	185.20	335.0	194.0	Ca	HCO3	Tipo I
PA-04	3.60	0.00	146.3	81.0	Al	SO4	Tipo III
M26A	8.17	122.10	222.6	141.0	Ca	HCO3	Tipo I

Punto	pH	Alcalinidad Total (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	Sólidos totales disueltos (mg/L)	Catión predominante	Anión predominante	Tipo
M24A	7.77	75.20	146.4	102.0	Ca	HCO ₃	Tipo I
M38	4.20	0.00	49.2	37.0	Al	SO ₄	Tipo III
M8	4.52	0.00	26.1	15.0	Al/CA	SO ₄	Tipo IV

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

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cállicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M14, S33, M26A, M24A. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (82 a 194 mg/L), una alcalinidad moderada (55 a 185.2 mg CaCO₃/L) y un pH alcalino (7.76 a 8.17);
- Tipo III: Sulfatadas – Alumínicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M38 y PA-04. Está caracterizada por presentar una baja a moderada concentración de STD (37-81 mg/L), una alcalinidad nula y un pH ácido (3.60 a 4.20) En estas aguas el catión predominante es marcadamente el aluminio y el anión predominante es el sulfato.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M8. Es de características similares a las aguas Tipo III pero en donde el catión no está claramente definido. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (15 mg/L), una alcalinidad muy baja (<1 mg CaCO₃/L) y un pH ácido (4.52).

Figura 4.7 Clasificación hidroquímica



Puede notarse que las muestras Tipo III y IV tienen muy bajas concentraciones de STD y pH ácido. Conforme las aguas discurren hacia aguas abajo, estas disuelven más carbonato de calcio (o se combinan con agua subterránea que contiene altas concentraciones de carbonato de calcio) y tanto el pH como los STD se incrementan. La alcalinidad también se incrementa conforme las aguas discurren hacia aguas abajo.

5 Resultados en puntos con registro de solo parámetros de campo

5.1 Aguas superficiales, Categorías 3 y 4

De los puntos establecidos para el registro de solo parámetros de campo, dos (02) tienen como uso actual el riego de vegetales y consumo de animales y por tanto corresponden a aguas Categoría 3. La Tabla 5.1 muestra los valores registrados en campo para puntos de categorías 3 y 4.

Tabla 5.1 Parámetros de campo en puntos Categoría 3 y 4

Punto	Fecha	Hora	pH	CE (μ S/cm)	TDS (mg/L)	POR (mV)	Ox. Dis (mg/L)	Temp (°C)	Turb (NTU)	Caudal (L/s)
ECA	Categoría 3-D1		6.5 – 8.5	2500	-	-	4	-	-	-
	Categoría 3-D2		6.5 – 8.4	5000	-	-	5	-	-	-
	Categoría 4-E1		6.5 – 9.0	1000	-	-	≥ 5	-	-	-
M13	26/11/2018	13:30	6.806	37.1	18.73	43.43	5.516	13.078	14.1	-
M35	28/11/2018	12:35	8.925	257.8	130.1	40.9	13.30	16.98	2.86	-

Nota: ⁽¹⁾ Afloramiento somero, no es posible aforar. ⁽²⁾ Agua empozada, no es posible aforar. ⁽³⁾ Laguna o reservorio. (S/A) Sin acceso social

El pH de los puntos evaluados varió de ácido a alcalino (6.806 a 8.925). El valor más ácido se presentó en el punto M13 pero sin exceder los ECA para la categoría. El valor más alcalino se presentó en el Embalse Mullo (M35) excediendo el límite superior de los ECA para la categoría 3 pero sin exceder la categoría 4.

La conductividad eléctrica varía entre 37.1 y 257.8 μ S/cm, siendo mayor en aquellos puntos con un mayor pH. La temperatura varió entre 13.078 y 16.98 °C.

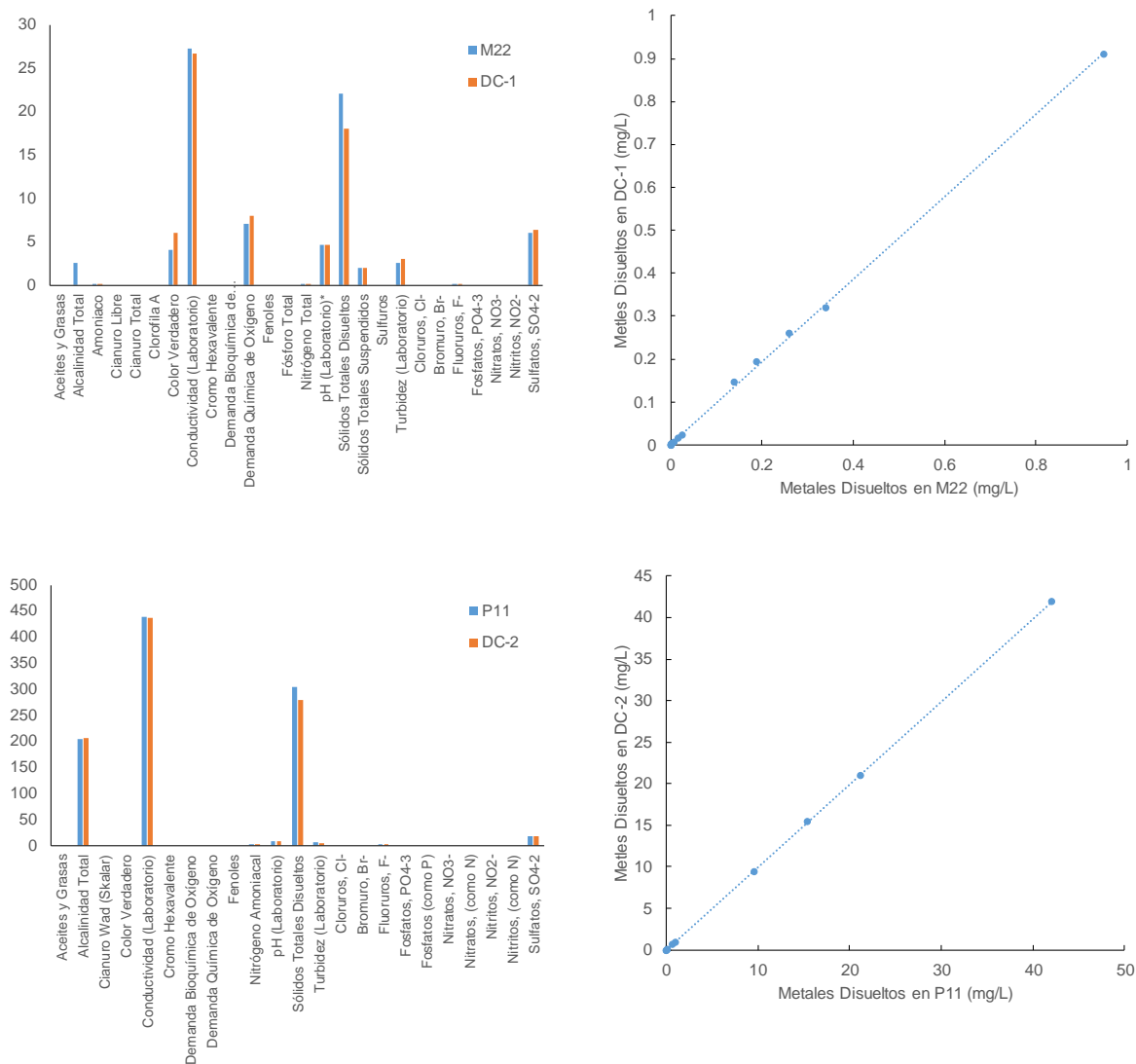
En todos los casos se pudo observar aguas transparentes, como escasa o nula presencia de sólidos en suspensión.

6 Control de calidad

6.1 Duplicado de muestra

Los resultados del análisis fisicoquímico de los duplicados de las muestras de agua superficial (DC-1 duplicado de M22) y agua subterránea (DC-2 duplicado de P11) son presentados en las tablas A.3-A y A.3-B, así como en la Figura 6.1.

Figura 6.1 Comparación de muestra duplicado



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

6.2 Blancos

6.2.1 Blanco de campo

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

Los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a esta muestra son presentados en las tablas A.4. Como se puede observar los parámetros analizados han sido reportados como no detectados, excepto el Boro en el blanco de campo 2. Esto finalmente indica que las muestras no han sido contaminadas durante el proceso de transporte, almacenamiento o análisis de laboratorio, lo cual valida la confiabilidad en los mismos.

6.2.2 Blanco viajero

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

Los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos y del análisis de metales totales del blanco viajero se muestran en la Tabla A.4. Los resultados muestran que tal como se esperaba no se detectaron la mayoría de los parámetros analizados. Asimismo, no se encontró presencia de metales, por lo que se puede afirmar que las muestras no se han visto contaminadas durante el todo el proceso de colecta, manejo y envío al laboratorio, así como tampoco durante el proceso de almacenaje y análisis de laboratorio.

6.3 Control de calidad de los resultados de laboratorio

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

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

6.3.1 Balance iónico

El balance iónico fue efectuado considerando como cationes principales: Calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), potasio (K^{+}), sodio (Na^{+}), aluminio (Al^{+3}) e hidronio (H^{+}); y como aniones principales: Bicarbonato (HNO_3), carbonato (CO_3^{-2}), cloruros (Cl^{-}), fluoruros (F^{-}), sulfato (SO_4^{-2}), nitrito (NO_2^{-}), nitrato (NO_3^{-}) e hidroxilo (OH^{-}). El porcentaje de diferencia entre cationes y aniones se expresa como sigue:

$$\% \text{ diferencia} = 100 \times \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}}$$

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

Asimismo, en el documento *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999), se recomiendan los siguientes criterios de aceptación:

Tabla 6.1 Criterios de análisis de balance iónico

Suma de aniones (meq/L)	Diferencia aceptable
0 – 3.0	±0.2 meq/L.
3.0 – 10.0	± 2%
10.0 – 800	± 5%

Es necesario tomar en cuenta que estas últimas recomendaciones han sido hechas para el control de calidad de análisis de laboratorio de agua potable. Debido a que en ninguno de los casos se ha analizado agua potable, la diferencia aceptable indicada por este criterio ha sido tomada como referencial. La Tabla 6.2 resume los resultados del balance

Tabla 6.2 Balance iónico

Punto	Σ aniones meq/L	Σ cationes meq/L	$\Sigma \text{cat} - \Sigma \text{anio}$ meq/L	DPR %
M14	1.30	1.1891	-0.1120	-4.5%
S33	3.77	3.9127	0.1457	1.9%
PA-04	0.54	0.5520	0.0147	1.3%
M26A	2.48	2.4253	-0.0559	-1.1%
M24A	1.60	1.5314	-0.0684	-2.2%
M38	0.18	0.2257	0.0420	10.3%
M8	0.08	0.1058	0.0264	14.2%

Como se puede observar, todos los puntos con excepción de M38 y M8, todos los puntos cumplen con los criterios de aceptación indicados por la OMS. Por otro lado, en los mencionados puntos la diferencia entre cationes y aniones cumple con el primer criterio del Standard Method. Debido a lo anterior, los resultados pueden ser considerados como válidos.

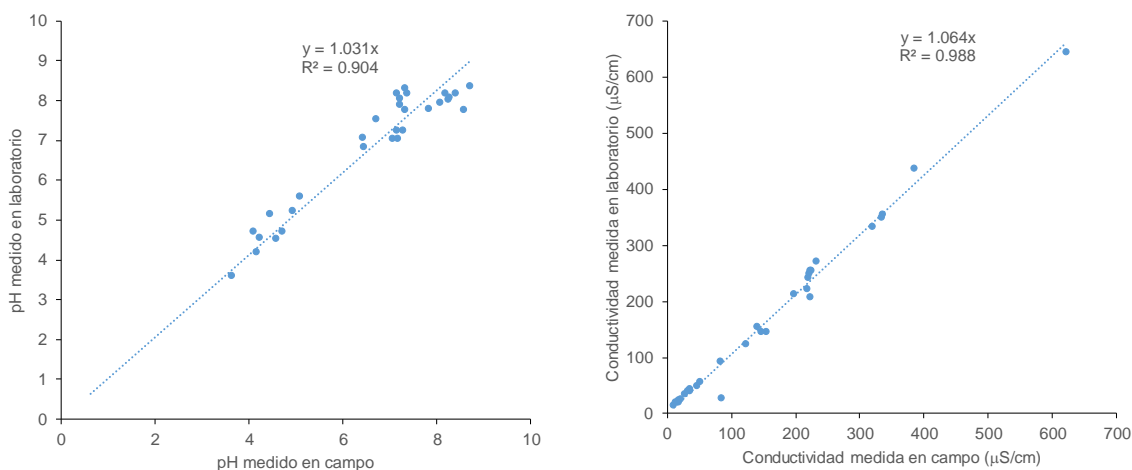
Dadas estas condiciones se ha procedido a aceptar los resultados de laboratorio de estos puntos, aunque se recomienda efectuar un seguimiento detallado de los resultados en futuras rondas de monitoreo.

6.3.2 Revisión cruzada de parámetros

Se efectuó una revisión cruzada de los siguientes parámetros: pH medido en laboratorio, versus vs pH medido en campo, conductividad eléctrica versus conductividad de campo, conductividad eléctrica

versus sólidos totales disueltos, concentración de metales totales versus concentración de metales disueltos y conteo de coliformes totales versus conteo de coliformes fecales.

Se verificó que existe una buena relación entre las mediciones de conductividad eléctrica efectuadas en campo, con sus correspondientes análisis de laboratorio. La relación STD/Conductividad observada en las muestras tiene un promedio de 0.67. Los valores de conductividad registrados en campo son similares a los obtenidos tras el análisis de laboratorio.



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

Se verificó que en todos los casos el conteo de coliformes totales es superior al conteo de coliformes termotolerantes.

7 Conclusiones y recomendaciones

Las aguas naturales presentes en la Zona II son en general de buena calidad con baja a moderada concentración de sólidos totales disueltos (81 - 194 mg/L). Los valores de conductividad, dureza, y alcalinidad varían directamente con el incremento de STD. Aguas con bajo valor de STD en el área mineralizada son influenciadas por la oxidación natural de minerales sulfuro, los cuales en gran proporción son el resultado del sulfato y bajos valores de pH.

Bajas concentraciones de metales totales y disueltos se presentan en la mayoría de las muestras evaluadas.

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

Aguas Categoría 1-A1:

- El oxígeno disuelto registró valores ligeramente inferiores al valor mínimo establecido por los ECA en el punto M14. Este punto presentó niveles altos de coliformes totales, por lo que los valores bajos de oxígeno disuelto podrían deberse al consumo de este por parte de las bacterias.
- Los valores de turbidez de laboratorio varían de 0.9 a 20.1 NTU. El mayor valor (20.1 NTU) excedió el ECA para agua en esta categoría y se presentó en el punto M14, lo cual es consistente con la presencia de STS.
- El conteo de coliformes totales y termotolerantes, así como *Escherichia coli*, excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en ambos puntos de monitoreo (S33, M14).
- Los organismos de vida libre estuvieron presentes en ambos puntos de monitoreo excediendo los ECA. En los 2 en forma de algas, y solo en M14 en forma de nemátodos y protozoarios
- Solo el hierro total excedió los ECA para la Categoría 1-A1 en el punto M14.

Aguas Categoría 3:

- Los puntos M8, M38 y PA-04 presentaron valores de campo y laboratorio por debajo del ECA para la Categoría 3-D1, 3-D2 y 4-E1, mientras que el punto M24A presentó un valor de pH, registrado en campo, superior al valor máximo del ECA Categoría 3-D2. El oxígeno disuelto se presentó por debajo del límite inferior para la categoría 3-D1 en el punto M38.
- Tanto el plomo total como disuelto excedieron los ECA para agua de las categorías 3 y 4 en el punto PA-04. Este punto se ubica en el área mineralizada de Hilorico, lo cual explicaría la presencia de este metal en mayores cantidades que en otros puntos.
- No se detectó la presencia de huevos de helmintos ni enterococos fecales en ningún punto de monitoreo. Fueron detectados coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. Coli* pero sin exceder los ECA Categoría 3.

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

- Aguas Categoría 3 y 4. El pH de los puntos evaluados varió de ácido a alcalino (6.806 a 8.925). El valor más ácido se presentó en el punto M13 pero sin exceder los ECA para la categoría. El valor más alcalino se presentó en el Embalse Mullo (M35) excediendo el límite superior de los ECA para la categoría 3 pero sin exceder la categoría 4.

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

- Tipo I: Aguas Bicarbonatadas - Cálcicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M14, S33, M26A, M24A. Estas muestras presentaron en general una moderada a alta concentración de STD (82 a 194 mg/L), una alcalinidad moderada (55 a 185.2 mg CaCO_3/L) y un pH alcalino (7.76 a 8.17);
- Tipo III: Sulfatadas – Aluminicas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M38 y PA-04. Está caracterizada por presentar una baja a moderada concentración de STD (37-81 mg/L), una alcalinidad nula y un pH ácido (3.60 a 4.20) En estas aguas el catión predominante es marcadamente el aluminio y el anión predominante es el sulfato.
- Tipo IV: Sulfatadas - Mixtas. Este tipo de agua fue encontrada en las muestras M8. Es de características similares a las aguas Tipo III pero en donde el catión no está claramente definido. Está caracterizada por presentar una baja concentración de STD (15 mg/L), una alcalinidad muy baja (<1 mg CaCO_3/L) y un pH ácido (4.52).

En base a los controles de calidad aplicados, se puede indicar que los procesos de muestreo, almacenamiento y transporte no han generado algún tipo de distorsión en las muestras y los análisis pueden ser considerados representativos. Asimismo, el control de calidad de resultados de laboratorio indica que estos pueden ser considerados representativos de las muestras.

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

8 Referencias

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

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

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

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

Ministerio del Ambiente, Perú (2015). Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

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.