



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

INFORME N. ° 366 -2018-OEFA/DEAM-STE

A : FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Director de Evaluación Ambiental

DE : LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS
Subdirector de la Subdirección Técnica Científica

LUIS ANGEL ANCCO PICHUILLA
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía

JUAN CARLOS FERNÁNDEZ CERNA
Especialista de Evaluaciones Ambientales

JANET BRÍGIDA QUINCHO OLAZÁBAL
Tercero Evaluador

HERVER ARTURO ACUÑA BARDALES
Tercero Evaluador

FRAY LUIS YANAPA HUAQUISTO
Tercero Evaluador

LUCILA NATHALI PINTO CIEZA
Especialista de Evaluaciones Ambientales



ASUNTO : Evaluación ambiental temprana (preliminar) en el área de influencia del proyecto de la central hidroeléctrica Laguna Azul de la empresa central hidroeléctrica Mamacocha S.R.L., en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa, durante el año 2018

REFERENCIA : POI 2018

FECHA : Lima, 21 DIC. 2018

2018 - I01 - 045956

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

1. INFORMACIÓN DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL TEMPRANA

Datos generales de la evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul

a.	Ubicación general	Distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa
b.	Ámbito de influencia	Área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul
c.	Antecedentes	POI 2018
d.	Objetivo general	Evaluar la calidad ambiental en el área de influencia del proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul
e.	Tipo de evaluación	Evaluación ambiental temprana



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Cantidad de puntos evaluados por matriz en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul de la empresa Central Hidroeléctrica Mamacocha S.R.L. – 2018

a.	Fecha de comisión	Primer monitoreo	16/10/2018 al 24/10/2018
b.	Puntos evaluados	Primer monitoreo	
		Agua superficial	14
		Sedimentos	03

Parámetros evaluados que incumplieron la normativa con la cual fue comparado los resultados de agua superficial en el área de influencia del proyecto de la central hidroeléctrica Laguna Azul de la empresa Central Hidroeléctrica Mamacocha S.R.L.

Matriz	Parámetro	Puntos que incumplieron la norma (1)			
		Cat1A2	Cat3D1	Cat3D2	Cat4E1
Agua superficial	Boro	-	RCol-1	-	
	Manganeso	-	QSub-1	QSub-1	
	Fósforo	-	-	-	LCha-1 LMam-1 LMam-2 LMam-3 LMam-4
Matriz	Parámetro	Puntos que incumplieron la norma (2)			
		ISQG	PEL		
Sedimento	Arsénico	*	LCha-1		
	Cobre	LMam-2	LMam-2		
	Plomo	LCha-1	-		
	Zinc	RMam-3	-		
	Mercurio Total	LCha-1	-		

- (1) Agua superficial: Norma de comparación D.S. N.° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Agua
Categoría 1 - A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional
Categoría 3 - D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales
Categoría 4 - E1: lagunas y lagos
- (2) Sedimento: Comparado referencialmente con la «Guía de Calidad Ambiental Canadiense para Sedimentos de Aguas Continentales» (*Canadian Environmental Quality Guidelines – Sediment Quality Guidelines for freshwater*)
- (-) Las concentraciones del parámetro no superaron estándares de comparación de agua y/o sedimento
(*) Menor al límite de cuantificación

2. PRINCIPALES CONCLUSIONES

- Los valores de pH en los 14 puntos de agua superficial (río Mamacocha, quebrada Subna, manantiales, lagunas Chachas y Mamacocha) variaron entre 7,12 y 8,32 unidades de pH y los de oxígeno disuelto fluctuaron entre 5,96 y 8,26 mg/L, cuyos resultados cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017), categorías 1(A2), 3 y 4 (E1).
- Los parámetros evaluados en los puntos de agua superficial (río Mamacocha, quebrada Subna, manantiales, lagunas Chachas y Mamacocha) cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017), categorías 1(A2) y 3, a excepción de boro y manganeso que incumplieron este estándar en los puntos RCol-1 (Cat3D1) y QSub-1 (Cat3D1 y Cat3D2), respectivamente.
- Los parámetros evaluados en las lagunas Chachas (LCha-1) y laguna Mamacocha (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4) cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017), categoría 4; a excepción del fósforo que incumplió los ECA para Agua (2017) en la subcategoría E1 en todos los puntos evaluados.



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

- La laguna Mamacochoa (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4), río Mamacochoa (RMam-2, RMam-3 y RMam-4), manantial (MNS-1), canal microcentral (DMCA-1) y el río Colca (RCol-2) presentaron facies bicarbonatadas sulfatadas cálcicas con predominancia de bicarbonatos; además, la laguna Chachas (LCha-1), el canal de riego (CAAyo-2) y la quebrada Subna (QSub-1) presentaron facies sulfatadas cálcicas; y el río Colca (RCol-1) presentó facies clorurada sulfatada sódica cálcica. Asimismo, de acuerdo con el diagrama de Ficklin todos los puntos evaluados se clasifican como aguas casi neutras con baja concentración de metales.
- El aluminio predominó en su forma suspendida en todos los puntos evaluados, de igual forma el hierro a excepción de los puntos MSN-1, DMCA-1, RMam-3 y LMam-1. Mientras que, en su forma disuelta predominó el arsénico, boro, bario, calcio, cobre, potasio, litio, magnesio, molibdeno, sodio, silicio, estroncio y vanadio.

El desarrollo completo del análisis de resultados se encuentra en el informe adjunto al presente documento.

3. RECOMENDACIONES

- Aprobar el informe de la evaluación ambiental en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul de la empresa Central Hidroeléctrica Mamacochoa S.R.L. - 2018, en vista que cuenta con el sustento técnico requerido.
- Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas para los fines que se estimen convenientes.

Atentamente:

LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS
Subdirector de la Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

LUIS ÁNGEL ANCCO PICHUILLA
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

JUAN CARLOS FERNÁNDEZ CERNA
Especialista de Evaluaciones Ambientales
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

JANET BRÍGIDA QUINCHO OLAZÁBAL
Tercero Evaluador
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

HERVER ARTURO ACUÑA BARDALES
Tercero Evaluador
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización
Ambiental - OEFA

FRAY LUIS YANAPA HUAQUISTO
Tercero Evaluador
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización
Ambiental - OEFA

LUCILA NATHALI PINTO CIEZA
Especialista de Evaluaciones Ambientales
Subdirección Técnica Científica
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización
Ambiental - OEFA

Lima, 21 DIC. 2018

Visto el Informe n.º 366 -2018-OEFA/DEAM-STEC, la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Director de Evaluación Ambiental
Dirección de Evaluación Ambiental
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»



Organismo
de Evaluación
y Fiscalización
Ambiental

**EVALUACIÓN AMBIENTAL TEMPRANA (PRELIMINAR) EN
EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO DE LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAGUNA AZUL DE LA
EMPRESA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MAMACOCHA
S.R.L., EN EL DISTRITO DE AYO, PROVINCIA DE
CASTILLA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, DURANTE
EL AÑO 2018**

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2018



J
g
b
J
HPC



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES.....	2
2.1.	Actividad de exploración.....	2
2.2.	Recopilación, revisión y análisis de la información.....	2
2.2.1.	Instrumentos de Gestión Ambiental.....	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1.	Objetivo general	3
3.2.	Objetivo específico	3
4.	ÁREA DE ESTUDIO	3
5.	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	4
5.1.	Etapa de coordinación previa con los actores involucrados	4
5.2.	Visita de reconocimiento.....	4
5.3.	Desarrollo de la EAT.....	4
6.	METODOLOGÍA.....	5
6.1.	Agua	
6.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación	5
6.1.2.	Ubicación de puntos.....	6
6.1.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	7
6.1.4.	Equipos utilizados	8
6.1.5.	Aseguramiento de la calidad	9
6.1.6.	Criterios de comparación.....	9
6.2.	Sedimentos.....	10
6.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación	10
6.2.2.	Ubicación de puntos.....	10
6.2.3.	Parámetros y métodos de análisis.....	11
6.2.4.	Equipos utilizados	11
6.2.5.	Aseguramiento de la calidad	11
6.2.6.	Criterios de comparación.....	12
6.3.	Evaluación hidroquímica.....	12
6.3.1.	Ubicación de puntos.....	12
6.3.2.	Procesamiento de datos.....	12
7.	RESULTADOS	17



J
g
g
J
JPC



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

7.1. Comparación con los estándares aprobados en el IGA	17
7.1.1. Calidad de agua superficial	17
7.2. Comparación referencial con estándares de nivel internacional.....	19
7.2.1. Sedimentos	19
7.3. Estudios especializados.....	20
7.3.1. Evaluación hidroquímica	20
8. CONCLUSIÓN.....	27
9. ANEXOS	27
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27



A
J
g
G
J
UC



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Instrumentos de gestión ambiental aprobados del proyecto Laguna Azul ... 2

Tabla 5-1. Actores sociales en el área de influencia del proyecto Laguna Azul 4

Tabla 5-2. Participación ciudadana de acuerdo con la ejecución de las etapas de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul 5

Tabla 6-1. Referencias para el muestreo de la calidad de agua superficial en el área de influencia del proyecto Laguna Azul 6

Tabla 6-2. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial (ríos, quebradas, lagunas y manantiales) evaluados en época seca (2018) 6

Tabla 6-3. Parámetros evaluados y métodos de análisis, y cantidad de puntos de agua superficial 7

Tabla 6-4. Equipos utilizados para el muestreo de agua superficial en época seca 8

Tabla 6-5. Categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto Laguna Azul 9

Tabla 6-6. Estándares de comparación para agua superficial 10

Tabla 6-7. Referencias para el muestreo de la calidad de sedimento de agua continental 10

Tabla 6-8. Ubicación de puntos de muestreo de sedimento (ríos, quebradas, lagunas) evaluados en época seca (2018)..... 11

Tabla 6-9. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio 11

Tabla 6-10. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio 12

Tabla 6-11. Valores aceptables de error en función de la conductividad eléctrica 13

Tabla 7-1. Resultados de calidad de agua superficial que excedieron los ECA 18

Tabla 7-2. Resultados de parámetros de laboratorio para la calidad de sedimento ... 20

Tabla 7-3. Porcentaje de metales disueltos en los puntos de muestreo de agua superficial en octubre de 2018 22

Tabla 7-4. Resultados de parámetros fisicoquímicos medidos en campo durante el muestreo..... 23



Handwritten marks: an arrow pointing up, a downward arrow, the number '9', a stylized signature, a downward arrow, and the initials 'LPC'.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Ubicación del proyecto Laguna Azul	3
Figura 6-1. Error de omitir H ₃ O ⁺ en el balance iónico A) EBI sin H ₃ O ⁺ , B) EBI con H ₃ O ⁺ y sin especiación y C) EBI con H ₃ O ⁺ y con especiación	14
Figura 6-2. Diagrama de Stiff	15
Figura 6-3. Diagrama de Piper	16
Figura 6-4. Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin) para el agua, basado en la suma de metales disueltos y el pH.....	16



↑
J
g
B
J
HC



1. INTRODUCCIÓN

El proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul (en adelante, proyecto Laguna Azul), a cargo de la empresa Central Hidroeléctrica Mamacocha S.R.L. (en adelante, CH Mamacocha) se realizará en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa. Hidrográficamente, el proyecto Laguna Azul se encuentra en la microcuenca del río Mamacocha, cuyas aguas tributan al río Colca; el mismo que pertenece a la red hidrográfica que drena sus aguas a la vertiente del Pacífico.

El proyecto Laguna Azul consiste en una central hidroeléctrica no regulada, también llamada «de pasada», la cual aprovechará el agua del rebose de la laguna Mamacocha para generar energía eléctrica, con una potencia instalada de 20 MW, esta energía producida será dada al Estado Peruano, a través del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)¹.

El 22 de junio de 2018, durante el desarrollo del «Muni Ejecutivo» en la ciudad de Arequipa, las autoridades locales de la provincia de Castilla informaron a la Ministra del Ambiente sus preocupaciones respecto al proyecto. En atención a estas denuncias relacionadas a la implementación del proyecto Laguna Azul, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) realizó una visita al distrito de Ayo en representación del sector y anunció el inicio de una Evaluación Ambiental Temprana (en adelante, EAT) en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.

El Planefa 2018 aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N.º 037-2017-OEFA/CD y publicado el 30 de diciembre de 2017 en el diario oficial *El Peruano*, establece como parte de la función evaluadora, generar diagnósticos ambientales que contengan un análisis integral del estado de los diversos componentes ambientales; dentro de las cuales, la evaluación ambiental temprana, se ejecuta durante la etapa de exploración y antes del inicio de las operaciones, bajo un enfoque preventivo y con participación ciudadana de la sociedad civil, en el marco del Reglamento de Participación Ciudadana en las Acciones de Monitoreo Ambiental (en adelante, Reglamento), aprobado en el 2014² y modificado en el 2016³.

Por lo antes expuesto, el 24 de julio de 2018 se realizó la coordinación previa con autoridades y población del distrito de Ayo para efectuar la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul; posteriormente, se llevó a cabo del 16 al 21 de setiembre de 2018 la visita de reconocimiento, donde se desarrollaron las etapas de convocatoria, inscripción del programa de inducción, realización de la inducción y taller para la presentación de la propuesta del plan de monitoreo, cuyas etapas se encuentran en el Reglamento.

En el taller mencionado se informó que el monitoreo se realizará en las temporadas secas y húmedas, el que contará con la participación de la sociedad civil, las autoridades locales, los representantes de la empresa CH Mamacocha y otros interesados en su desarrollo. Cabe precisar que, del 16 al 24 de octubre de 2018 se realizó el monitoreo de calidad de agua, sedimento e hidrobiología en el área de influencia del proyecto Laguna Azul, el cual corresponde a la época seca.

Finalmente, el presente informe corresponde a la EAT realizada en el área de influencia del proyecto Laguna Azul en el año 2018; el cual contiene los resultados de las matrices agua y sedimento, análisis y conclusiones realizados por la Subdirección

¹ Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 110-2014-GRA/ARMA-SG

² Resolución de Consejo Directivo N.º 032-2014-OEFA-CD.

³ Resolución de Consejo Directivo N.º 003-2016-OEFA-CD.



Técnica Científica de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA. Asimismo, los resultados en el presente informe constituirán un soporte técnico para la supervisión y fiscalización ambiental de las instituciones competentes, en lo que respecta al proyecto Laguna Azul.

2. ANTECEDENTES

Para conocer la calidad ambiental relacionada al área de influencia del proyecto Laguna Azul se realizó una recopilación, revisión, y síntesis de la información ambiental existente en el área de influencia del mencionado proyecto.

2.1. Actividad de exploración

El proyecto Laguna Azul de la empresa CH Mamacocha se realizará en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa, en el denominado «Valle de los Volcanes». Este proyecto aprovechará el agua de robose de la laguna Mamacocha para la generación de energía eléctrica.

Actualmente, la empresa CH Mamacocha no ha realizado ninguna actividad en el área de estudio. Cabe indicar que la empresa cuenta con la certificación ambiental para el desarrollo del mismo; la misma que fue actualizada en 2017.

2.2. Recopilación, revisión y análisis de la información

Para cumplir con los objetivos del presente informe se realizó la revisión de la información de los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA) aprobados por la autoridad competente del sector.

2.2.1. Instrumentos de Gestión Ambiental

Se revisó los IGA asociados al proyecto Laguna Azul, aprobados por la Autoridad Regional Ambiental (en adelante, ARMA). En la Tabla 2-1 se detallan los cinco instrumentos considerados para la presente de evaluación.

Tabla 2-1. Instrumentos de gestión ambiental aprobados del proyecto Laguna Azul

N.º	Administrado	Título del IGA	Número de resolución	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
1	Hidroeléctrica Laguna Azul S.R.L.	Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul	Resolución Sub Gerencial Regional N.º 110-2014-GRA/ARMA-SG	03/09/2014	Autoridad Regional Ambiental (ARMA) – Gobierno Regional Arequipa
2	Hidroeléctrica Laguna Azul S.R.L.	Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto «Línea de Transmisión de la Central Hidroeléctrica Laguna Azul en 66 KV»	Resolución Sub Gerencial Regional N.º 110-2014-GRA/ARMA-SG	24/12/2014	Autoridad Regional Ambiental (ARMA) – Gobierno Regional Arequipa
3	CH Mamacocha S.R.L.	Ampliación de vigencia de certificación ambiental del proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul	Resolución Sub Gerencial Regional N.º 070-2017-GRA/ARMA-SGCA	01/08/2017	Autoridad Regional Ambiental (ARMA) – Gobierno Regional Arequipa
4	CH Mamacocha S.R.L.	Ampliación de vigencia de certificación ambiental «Línea de Transmisión de la Central Hidroeléctrica Laguna Azul en 66 KV»	Resolución Sub Gerencial Regional N.º 074-2017-GRA/ARMA-SGCA	07/08/2017	Autoridad Regional Ambiental (ARMA) – Gobierno Regional Arequipa



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

N.º	Administrado	Título del IGA	Número de resolución	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
5	CH Mamacocha S.R.L.	Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul»	Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA	29/12/2017	Autoridad Regional Ambiental (ARMA) – Gobierno Regional Arequipa

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la calidad ambiental en el área de influencia del proyecto Central Hidroeléctrica Laguna Azul.

3.2. Objetivo específico

Evaluar la calidad de agua superficial y sedimento en la microcuenca Mamacocha.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del proyecto Laguna Azul se encuentra ubicado políticamente en el distrito de Ayo, provincia de Castilla, departamento de Arequipa (Figura 4-1). Hidrográficamente, el proyecto se encuentra en la microcuenca del río Mamacocha, cuyas aguas tributan al río Colca, el cual pertenece a la vertiente del pacífico.



Handwritten notes and arrows pointing to the stamp area.

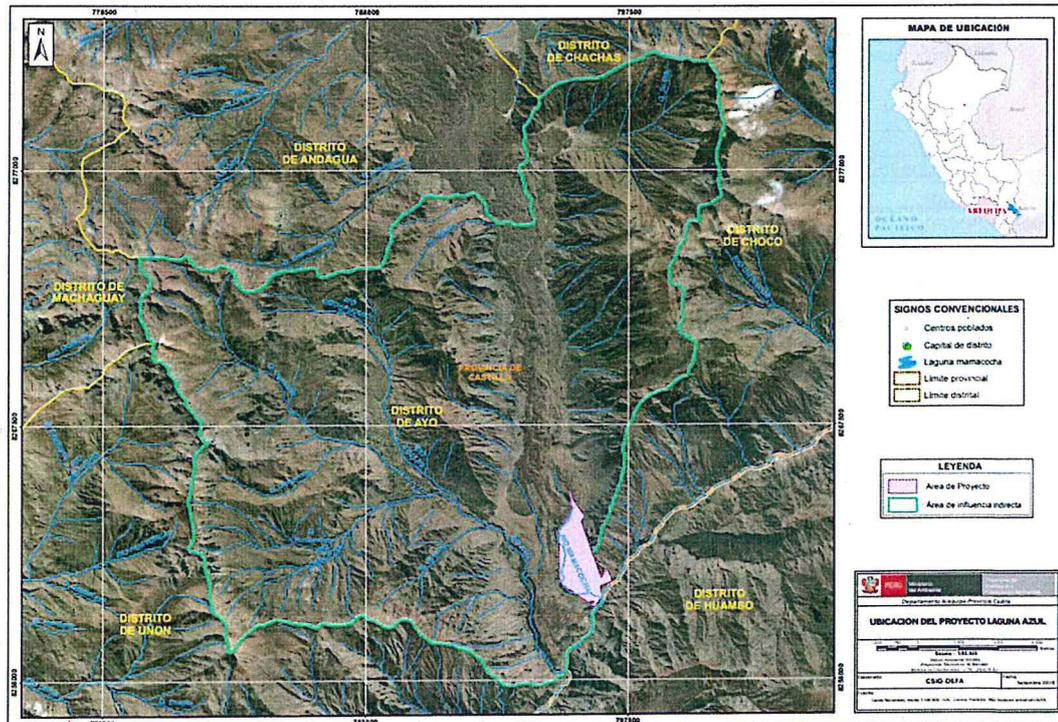


Figura 4-1. Ubicación del proyecto Laguna Azul



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

5. PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Para el OEFA, la participación de la ciudadanía en el proceso de la fiscalización ambiental es de vital importancia. En consecuencia, la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA, vio conveniente desarrollar la Evaluación Ambiental Temprana en el área de influencia del proyecto Laguna Azul con la participación ciudadana; basado en el Reglamento de Participación Ciudadana en las Acciones de Monitoreo Ambiental.

5.1. Etapa de coordinación previa con los actores involucrados

La coordinación previa con los actores involucrados se realizó el 24 de julio de 2018, y su objetivo fue establecer un primer contacto con las poblaciones y autoridades del área de estudio a evaluar, identificar la situación social y ambiental, conocer su percepción respecto a la realización de la EAT, reconocimiento técnico y logístico del área de evaluación.

5.2. Visita de reconocimiento

La visita de reconocimiento se realizó del 16 al 21 de setiembre de 2018, y se definió el área de estudio, se identificaron los componentes ambientales a ser evaluados, se determinó la red de puntos de muestreo, los parámetros a evaluar y el tiempo requerido para la evaluación, así como el desarrollo de las etapas de convocatoria, inscripción en los programas de inducción, realización de la inducción y taller para la presentación de la propuesta del plan tipificadas en el Reglamento.

Los actores sociales involucrados en la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul están conformados por representantes del distrito de Ayo y anexos, los cuales se presentan en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Actores sociales en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Institución / Actores	Distrito	Provincia	Departamento
Municipalidad Distrital	Ayo	Castilla	Arequipa
Anexo			
Anexo			
Anexo			
Frente de Desarrollo			
CLAS de Salud			
Comisión de Usuarios			
Frente de Defensa de los Recursos Naturales y Culturales			

5.3. Desarrollo de la EAT

La EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul se desarrolló conforme a las etapas tipificadas en el Reglamento. En la Tabla 5-2, se muestra la cantidad de personas por género que participaron en cada una de las etapas de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul durante el año 2018.

Las actas y lista de asistencias de las etapas 1 al 5 se encuentran en el informe de visita de reconocimiento N° 0325-2018-OEFA-DEAM-STEAC. El acta correspondiente a la etapa 6 se encuentra en el Anexo 5.



JRC



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Tabla 5-2. Participación ciudadana de acuerdo con la ejecución de las etapas de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Etapa	Fecha	Participantes	
	2018	hombres	mujeres
Etapa 1 Coordinación previa con los actores involucrados	24 de julio de 2018	17	19
Visita de reconocimiento (A)	Del 16 al 21 de setiembre de 2018	2	1
Etapa 2 Convocatoria (B)	19 de setiembre de 2018	31	22
Etapa 3 Inscripción en los programas de inducción			
Etapa 4 Realización de la inducción			
Etapa 5 Taller para la presentación de la propuesta del plan			
Etapa 6 Ejecución del monitoreo	Del 16 al 24 de octubre de 2018	10	2
Etapa 7 Taller para la presentación de resultados (C)	-	-	-

- No se cuenta con registro.

(A) Esta etapa no está considerada en el reglamento de Participación Ciudadana, pero es necesaria para el reconocimiento técnico del área de estudio

(B) La convocatoria se realizó mediante cartas, oficios y perifoneo local

(C) No se tiene fecha tentativa para la actividad de presentación de resultados de la ejecución en 2018

6. METODOLOGÍA

En este apartado se presenta la metodología empleada de la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul. Dicha metodología está dividida para cada uno de los componentes ambientales evaluados y estudios especializados durante el año 2018.

6.1. Agua

En los apartados siguientes se muestra la metodología desarrollada para evaluar la calidad del componente agua, comprende el procedimiento para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, parámetros y métodos de análisis, equipos utilizados, aseguramiento de la calidad y criterios de comparación.

6.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

La metodología aplicada para la evaluación de agua de ríos, quebradas, lagunas, y manantiales, se enmarcó en el capítulo 6: «Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» del «Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales»⁴, donde se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales a aplicarse en las actividades de monitoreo de la calidad de agua. Para la evaluación de la calidad de agua se ha tomado en consideración las referencias establecidas que se detallan en la Tabla 6-1.

⁴ Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. «Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales». Aprobado el 11 de enero de 2016.



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

N.º	Código IGA	Código OEFA	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción del punto
			Este (m)	Norte (m)		
9	-	MSN-1	795341	8264068	1586	Ubicado en el manantial sin nombre, a 650 m aguas abajo de la descarga de la laguna Mamacocho, lado oeste
10	CO-02	RCol-2	796482	8260962	1355	Ubicado en el río Colca, a 150 m después de la confluencia con el río Mamacocho
11	-	LCha-1	793590	8280950	2955	Ubicado en la laguna Chachas, punto de descarga
12	-	RCha-1	792123	8279069	2919	Ubicado en el río Chachas, a 2 km de la descarga de la laguna Chachas
13	-	QSub-1	796484	8277940	3031	Ubicado en la quebrada Subna, a 50 m al sur del colegio del Anexo Subna
14	MA-01	RMam-2	794893	8263559	1519	Ubicado en el río Mamacocho a 1,2 km de la descarga de la laguna Mamacocho
15	MA-02	RMam-3	795320	8261226	1392	Ubicado en el río Mamacocho, a 1 km antes de la confluencia con el río Colca.
16	-	RCol-1	796502	8261130	1347	Ubicado en el río Colca, a 100 m antes de la confluencia con el río Mamacocho

6.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros considerados para evaluar la calidad del agua superficial fueron seleccionados en función de las actividades del área de influencia del proyecto Laguna Azul, se tomaron en cuenta los parámetros relacionados a las características más representativas de los cuerpos de agua.

En los puntos de muestreo se realizaron (*in situ*) mediciones de los parámetros de campo como son: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), temperatura (T) y potencial óxido-reducción (ORP). En la Tabla 6-3 se muestra los parámetros, y métodos de análisis considerados por los laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal), que proporcionaron materiales (coolers, frascos y preservantes) para la evaluación de calidad de agua superficial (época seca).

Tabla 6-3. Parámetros evaluados y métodos de análisis, y cantidad de puntos de agua superficial

Nº	Parámetros (mg/L)	Cantidad de puntos muestreados	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
Octubre 2018 (época seca)				
1	Bicarbonatos	14	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2320 B	ALS LS PERÚ S.A.C.
2	Carbonatos		SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2320 B	
3	Cloruros		SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CI- B, 22nd Ed. 2012	
4	Fluoruros		SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500-F- B, C	



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

N°	Parámetros (mg/L)	Cantidad de puntos muestreados	Método de ensayo de referencia	Laboratorio de ensayo acreditado
2	Sulfatos	14	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 4500-SO ₄ 2-E	ALS LS PERÚ S.A.C.
6	Fosfato		EPA METHOD 365.3, 1983	
7	Silicatos		SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SiO ₂ , D, 22nd Ed. 2012 (validado)	
8	Sulfuros		SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-S ₂ - D, 22nd Ed. 2012	
9	Nitrógeno Amoniacal		SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ F, 22nd Ed. 2012	
10	Aceites y grasas		ASTM D7066-04 (Validado), 2011	
11	Demanda Química Oxígeno (DQO)		SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. 2012	
12	Bifenilos Policlorados (PCB)		EPA METHOD 8082 A, Rev. 1 2007	
13	Sólidos totales disueltos		SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 C	
14	Sólidos totales suspendidos		SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 2540 D	
15	Metales totales (incluido mercurio)		EPA METHOD 200.8	
16	Metales disueltos (incluido mercurio)		EPA METHOD 200.8	

*De los 16 puntos propuestos se evaluaron 14 puntos debido a que dos puntos estaban secos.

6.1.4. Equipos utilizados

Antes de salir a campo, se realizaron los ajustes y verificaciones de los equipos de monitoreo de agua. En el caso de la presente EAT se emplearon los equipos que se presentan en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4. Equipos utilizados para el muestreo de agua superficial en época seca

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie	Número de serie de sonda	N.º de certificado de calibración
Medidor multiparámetro	HACH	HQ40D	150500000935	Potencial de hidrógeno: 172762568064	LA-647-2017
				Oxígeno disuelto: 152892599016	LA-0442018
				Temperatura: 172762568064	LA-646-2017
				Conductividad: 151332587028	LA-103-2018
				ORP: 171983028002	LA-1662018
	HACH	HQ40D	150500000789	Potencial de hidrógeno: 172722567026	LA-649-2017
				Oxígeno disuelto: 151282597014	LA-0522018
				Temperatura: 172722567026	LA-648-2017



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie	Número de serie de sonda	N.º de certificado de calibración
				Conductividad: 151142587016	LA-128-2018
				ORP: 171793028010	LA-1652018
Cámara fotográfica	Canon	Powershot D30BL	062051001713	-	-
			082051001004		
GPS	Garmin	Montana 680	4HU005028	-	-
			4HU004992		
Correntómetro	Global Water	FP11	1550006911	-	038-17

Una mayor descripción de los equipos listados y aquellos que no se describen, en la tabla anterior, se detalla en el reporte de campo N.º 058-2018-STECA (Anexo 3).

6.1.5. Aseguramiento de la calidad

De acuerdo con lo señalado en el inciso 6.17 de la Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA, se consideraron dentro del aseguramiento de calidad: blanco de campo (una muestra), blanco viajero (una muestra) y duplicados (uno por cada 10 muestras colectadas) para el parámetro metales totales. Dado que, solo se colectaron muestras en 14 puntos; se han considerado una muestra para el blanco de campo, una para el blanco viajero y un duplicado.

6.1.6. Criterios de comparación

Los resultados de agua superficial (ríos, quebradas, lagunas y manantiales) fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad para Agua (en adelante, ECA para Agua) aprobados por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, empleados en el último instrumento de gestión ambiental del administrado⁵.

Según la Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA⁶, «Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales» el río Mamacocha y Colca poseen una clasificación con categoría 1(A2) y 3, respectivamente (Tabla 6-5). Cabe precisar que, al río Mamacocha se le asignará adicionalmente la categoría 3 debido a que CH Mamacocha comparará sus resultados con dicha categoría⁴.

Tabla 6-5. Categoría de comparación para los cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto Laguna Azul

Código cuerpo de agua	Cuerpo de agua	Categoría	Código de cuenca
13472	Río Mamacocha	Categoría 1 (A2)	134
13473	Río Colca	Categoría 3	134

De forma similar, las lagunas fueron comparadas con la categoría 4, Conservación del ambiente acuático, subcategoría E1: lagunas y lagos (en adelante, Cat4E1), la cual comprende a los cuerpos de agua lénticos de origen natural que no presentan corriente continua, tipificado en el literal a) del inciso 3.4 del artículo 3 del Decreto

⁵ Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GR/ARMA-SGCA.

⁶ Resolución Jefatural N.º 056-2018-ANA. Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales. Aprobada el 13 de febrero de 2018.



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Supremo N.° 004-2017-MINAM. Los estándares de comparación para agua se detallan en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6. Estándares de comparación para agua superficial

Norma vigente y aprobada en el IGA del administrado
Agua superficial: Lóticos (ríos, quebradas y manantiales)
Categoría 1: «Poblacional y Recreacional», subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM
Categoría 3: «Riego de vegetales y bebida de animales», subcategorías D1: Riego de animales y D2: Bebida de animales, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM
Agua superficial: Lénticos (lagunas)
Categoría 4: «Conservación del ambiente acuático» subcategorías E1: Lagunas y lagos, de los ECA para Agua, Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

6.2. Sedimentos

A continuación, se proporciona la información relacionada con la metodología de toma de muestras de sedimentos y aspectos relacionados con el análisis de los resultados obtenidos.

6.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

Debido a que aún no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y evaluación de sedimento de agua continental, se utilizó las referencias indicadas en la Tabla 6-7.

Tabla 6-7. Referencias para el muestreo de la calidad de sedimento de agua continental

Componente Ambiental	Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Sedimento	Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices prioritarias del PRONAME	Sección 3.4	México	Instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC-CCA)	---	2010
	Procedimiento para el muestreo de aguas y sedimento para la determinación de metales	Sección 7.3, 8, y 9.2	Colombia	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	---	2011

6.2.2. Ubicación de puntos

La ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos se estableció en los mismos puntos de muestreo de calidad de agua superficial (ríos, lagunas y quebradas).

En el mes de octubre se tomaron tres muestras de sedimento, la ubicación y descripción de los puntos se observa en la Tabla 6-8. Cabe precisar que, en algunos puntos de muestreo de agua superficial no se encontró muestras representativas de sedimentos.



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Tabla 6-8. Ubicación de puntos de muestreo de sedimento (ríos, quebradas, lagunas) evaluados en época seca (2018)

N.º	Código IGA	Código OEFA	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción del punto
			Este (m)	Norte (m)		
2	-	LMam-2	795341	8264907	1685	Ubicado en la laguna Mamacocha, lado este
11	-	LCha-1	793590	8280950	2955	Ubicado en la laguna Chachas, punto de descarga
15	MA-02	RMam-3	795320	8261226	1392	Ubicado en el río Mamacocha, a 1 km antes de la confluencia con el río Colca.

6.2.3. Parámetros y métodos de análisis

Para la selección de los parámetros a analizar se consideraron los estándares establecidos en la Guía de calidad ambiental de Canadá (*Canadian Environmental Quality Guidelines*) [CEQG] del año 2001 y que fue modificada en el año 2011. Sobre esta base se priorizaron los parámetros relacionados con la actividad de la empresa CH Mamacocha. En la Tabla 6-9, se presenta el parámetro analizado y método de análisis.

Tabla 6-9. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio

Parámetros	Unidad	Métodos de análisis	Laboratorio
Metales totales (+Hg)	mg/kg PS	EPA 3050 B: 1996/ EPA 6010 B: 1996	ALS LS Perú S.A.C.
Materia orgánica	%	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT20; item 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017	SGS S. A.

6.2.4. Equipos utilizados

Antes de salir a campo, se verificaron todos los materiales y herramientas, y se realizaron los ajustes y verificaciones de los equipos.

La descripción de los equipos utilizados para el trabajo en campo, los registros de verificación y los certificados de calibración de los equipos de la evaluación ambiental, se muestran en los reportes de campo (Anexo 3).

6.2.5. Aseguramiento de la calidad

Debido a que solo se tomaron muestras en tres puntos, no se consideró la toma de duplicados.



6.2.6. Criterios de comparación

Los resultados obtenidos fueron comparados referencialmente con los valores de los estándares de la guía de calidad ambiental de Canadá (CEQG) que define dos valores límites⁷:

- *Interim Sediment Quality Guidelines* - ISQG (valores guía provisional de calidad de sedimento): representa el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos.
- *Probable Effect Level* - PEL (nivel de efecto probable): representa el nivel de concentración química más bajo que usualmente o siempre está asociado a efectos biológicos adversos.

Los resultados de los metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc) fueron comparados con los valores guía de la norma canadiense. En la Tabla 6-10 se presentan los valores de comparación.

Tabla 6-10. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio

Normativa	Parámetro	Unidad	Valor ISQG	Valor PEL
Canadian Environmental Quality Guidelines	Arsénico	mg/kg MS	5,9	17
	Cadmio	mg/kg MS	0,6	3,5
	Cobre	mg/kg MS	35,7	197
	Cromo	mg/kg MS	37,3	90
	Mercurio	mg/kg MS	0,17	0,486
	Plomo	mg/kg MS	35	91,3
	Zinc	mg/kg MS	123	315

6.3. Evaluación hidroquímica

Para la evaluación de los aspectos químicos del agua y los tipos de reacciones que ocurren en este medio, la presente EAT tomó como base la totalidad de información de calidad de agua superficial, ubicados en el área de influencia del proyecto Laguna Azul.

La evaluación de los aspectos químicos del agua y los tipos de reacciones que ocurren en este medio consideró la totalidad de los resultados de agua (ríos, quebradas, lagunas, y manantiales) ubicados en el área de estudio. Es importante mencionar que Custodio y Llamas (1996) considera que los análisis de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y parámetros de campo como la conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y pH son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en sistemas hidrológicos.

6.3.1. Ubicación de puntos

Los puntos de muestreo considerados en esta sección corresponden a los puntos en ríos, quebradas, lagunas y manantiales evaluados en época seca (Tabla 6-2).

6.3.2. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

⁷ Canadian Council of Ministers of the Environment, (2001). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment. Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life – Fresh water* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos en cuerpos de agua dulce). Disponible en: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/317>



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

6.3.2.1. Balance iónico

Se inicia con el control de calidad de los resultados reportados por el laboratorio, que consiste en realizar el balance iónico (BI), este análisis se basa en el equilibrio porcentual de cargas en las muestras. Cuando las sales se disuelven en agua para formar iones, los aniones son atraídos al polo positivo del agua mientras que los cationes son atraídos al polo negativo (Arnórsson, 2000).

$$BI = 100 * \frac{\sum Cationes - \sum Aniones}{\sum Cationes + \sum Aniones} \quad (6.1)$$

Para los rangos de error aceptables se ha tomado de referencia lo planteado por Custodio y Llamas (1976), basado en el valor de conductividad eléctrica (Tabla 6-11).

Tabla 6-11. Valores aceptables de error en función de la conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica (µS/cm)	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	±30	±10	±8	±4	±4

Fuente: tomado de Custodio y Llamas (1976)

De otro lado, algunas muestras presentan valores de Error de Balance Iónico (en adelante, EBI) fuera del rango óptimo de ± 10 %, con valores demasiado negativos (<< - 10 %). Esto se da en la mayoría de los casos en muestras ácidas con altas concentraciones de metales, resultando un EBI negativo si no se toma en cuenta sobre todos los iones hidronio (H₃O⁺) del pH (de preferencia en base a su actividad y no concentración) y otras especies disueltas en mayor concentración como el aluminio (Al³⁺) y hierro (Fe²⁺).

Al respecto de las muestras ácidas, el error de omitir los iones hidronio (H₃O⁺) lleva a que el balance de carga será más negativo progresivamente a medida que el pH descende, tal como muestra en la Figura 6-1 (Nordstrom *et al.*, 2009). En la Figura 6-1A se observa que en aguas a pH menores a 3, el ion H₃O⁺ puede tener mayor concentración (en meq/L) que otros cationes y por ende su EBI es llega a valores mayores entre -50 y -100.



Handwritten notes and initials: a vertical list of symbols and the letters 'KPC' at the bottom.



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

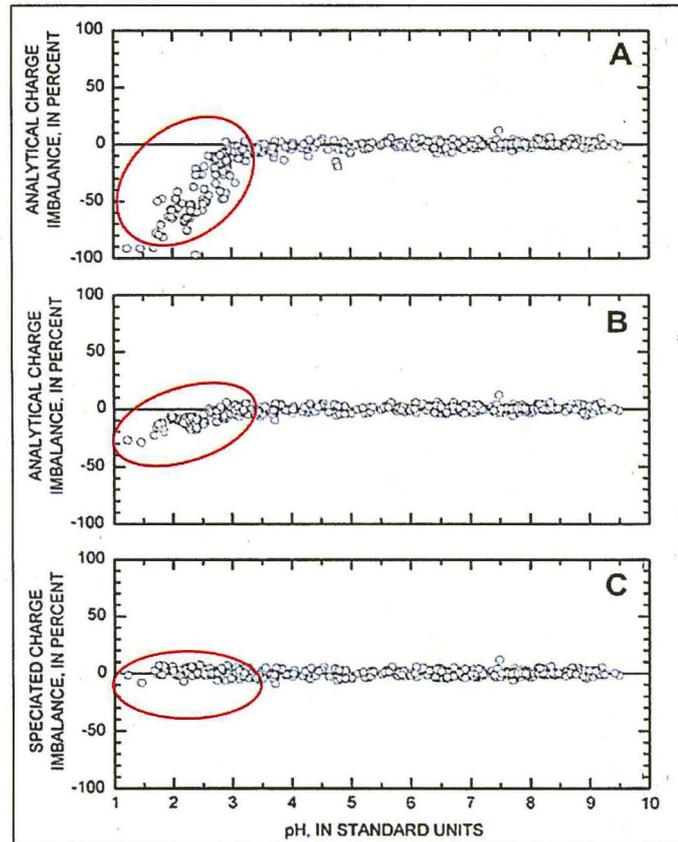


Figura 6-1. Error de omitir H_3O^+ en el balance iónico A) EBI sin H_3O^+ , B) EBI con H_3O^+ y sin especiación y C) EBI con H_3O^+ y con especiación

Fuente: Nordstrom *et al.* (2009)

Mientras, en la Figura 6-1B y Figura 6-1C indican que la importancia de considerar todas las especies formadas de Fe, Al, As, fluoruros y sulfatos principalmente a pH ácidos antes del cálculo del EBI, teniendo como ejemplo a los sulfatos, los cuales a pH de 1,3 a 2,7 sus iones se distribuyen en SO_4^{2-} (II) y HSO_4^{2-} (I).

Una de las causas de la acidez y la disolución de metales es la rápida e intensa oxidación de piritas (FeS_2) y otros sulfuros en los acuíferos, tras intrusión de oxidantes como el O_2 , y aumento del potencial redox en un ambiente reductor de SO_4^{2-} (potencial redox Eh \ll 160 mV).

De esta manera, en el presente estudio se ha considerado las concentraciones de aluminio (Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), bario (Ba^{2+}), estroncio (Sr^{2+}) y litio (Li^+) en la evaluación del EBI en cada uno de los puntos de muestreo.

6.3.2.2. Selección de la serie analítica

Se seleccionó la serie analítica con la finalidad de describir las propiedades de los componentes hidroquímicos del agua. Los parámetros analizados fueron los siguientes:

- Parámetros de campo: pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto
- Parámetros fisicoquímicos: bicarbonato, cloruro, sulfato, carbonato.
- Metales disueltos.





6.3.2.3. Diagramas hidroquímicos

El análisis de resultado comprendió la elaboración de diagramas hidroquímicos que permitan caracterizar las aguas en función a su concentración de sales, predominancia catiónica y aniones (tipo de agua) e interacción con la parte orgánica y roca.

Para la obtención de los diagramas hidroquímicos (facies e índices) se utilizó el software libre Aqion versión 6.2.6 y Diagrammes.

- **Diagrama de Stiff**

Esta gráfica está compuesta por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el Na^+ se confronta con el Cl^- , el Ca^{+2} con el HCO_3^- y el Mg^{+2} con el SO_4^{-2} (a veces también se pueden mostrar otros dos iones, como el Fe^{+2} contra el NO_3^-). Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

Dos características sobresalen en este tipo de diagrama: por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica). En la Figura 6-2 se muestran algunas apreciaciones de este diagrama que caracterizan varios tipos de aguas.



J
g
A
J
MC

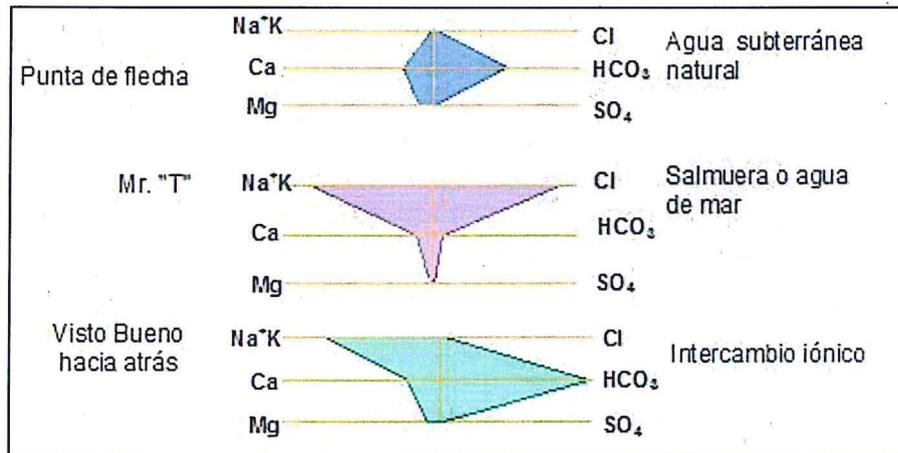


Figura 6-2. Diagrama de Stiff
Fuente: Moreno y Duque (2015).

- **Diagrama de Piper**

Es una de las gráficas más utilizadas, en él se incluyen aniones y cationes en forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio, 1976).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ . Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{-2} , Cl^- y HCO_3^- . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Las concentraciones de los iones dadas en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo tres aniones y tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión (Figura 6-3).

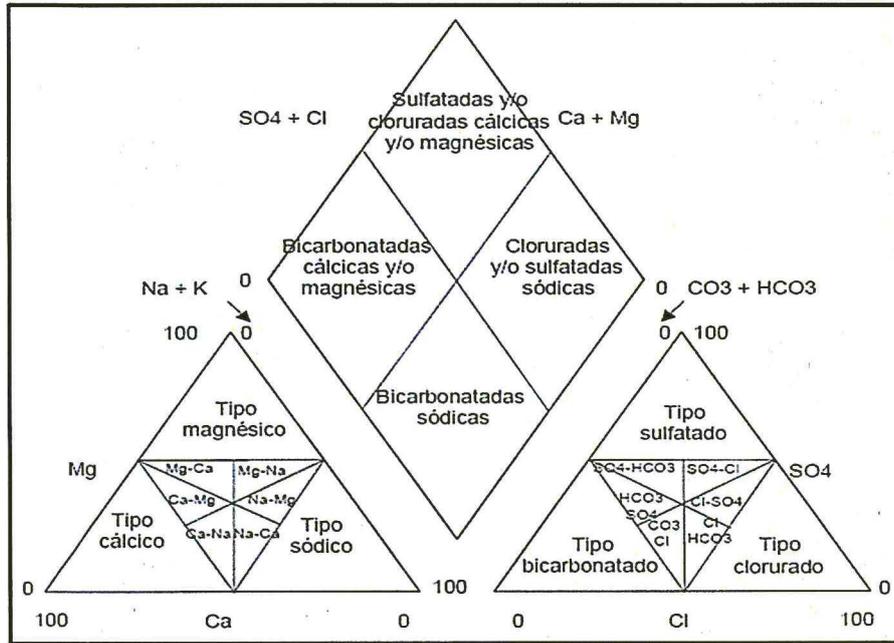


Figura 6-3. Diagrama de Piper
Fuente: Custodio (1976).

6.3.2.4. Clasificación geoquímica

En el presente estudio se realizó la clasificación geoquímica del agua superficial (lagunas, quebradas, ríos y manantiales) en base al pH y la suma de ciertos metales pesados en ppb ($\mu\text{g/L}$) en un diagrama conocido como Ficklin (Ficklin *et al.*, 1992), ver Figura 6-4.

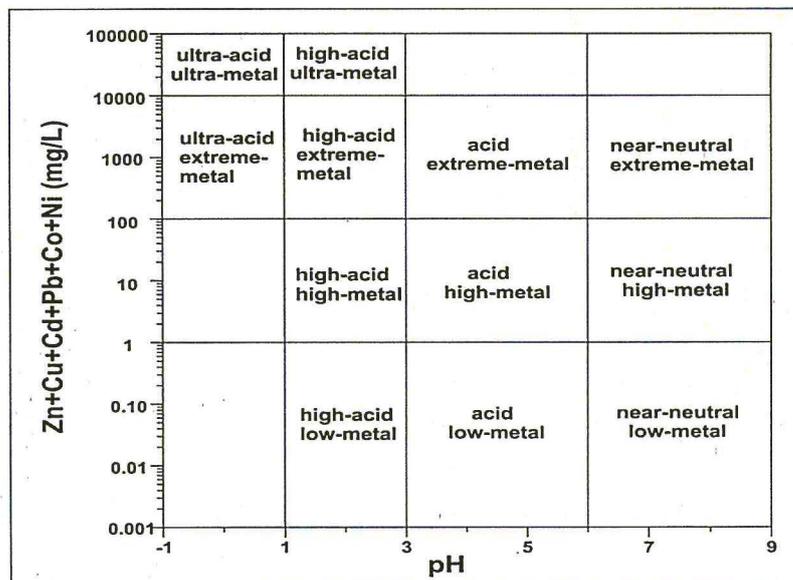


Figura 6-4. Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin) para el agua, basado en la suma de metales disueltos y el pH
Fuente: Adaptado de Ficklin *et al.* (1992) y Plumlee *et al.* (1999)



Handwritten blue ink marks and signatures on the left margin.



7. RESULTADOS

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos durante la EAT en el área de influencia del proyecto Laguna Azul, de la matriz agua superficial (ríos, quebradas, lagunas y manantiales); además de estudios especializados como evaluación hidroquímica.

Los resultados son presentados en tres partes, la primera parte corresponde a la comparación con las normas ambientales aprobados en el IGA⁸, la segunda parte corresponde a la comparación con referencias internacionales, y la tercera a estudios especializados considerados en la presente EAT, los cuales son presentados a continuación.

Para la evaluación del presente estudio solo se ha considerado una zona, que comprende: 1 punto en la descarga de la laguna Chachas, 13 puntos en la microcuenca del río Mamacocha, y 2 puntos en el río Colca. En la Figura 7-1 se muestra la distribución de los puntos de muestreo evaluados.

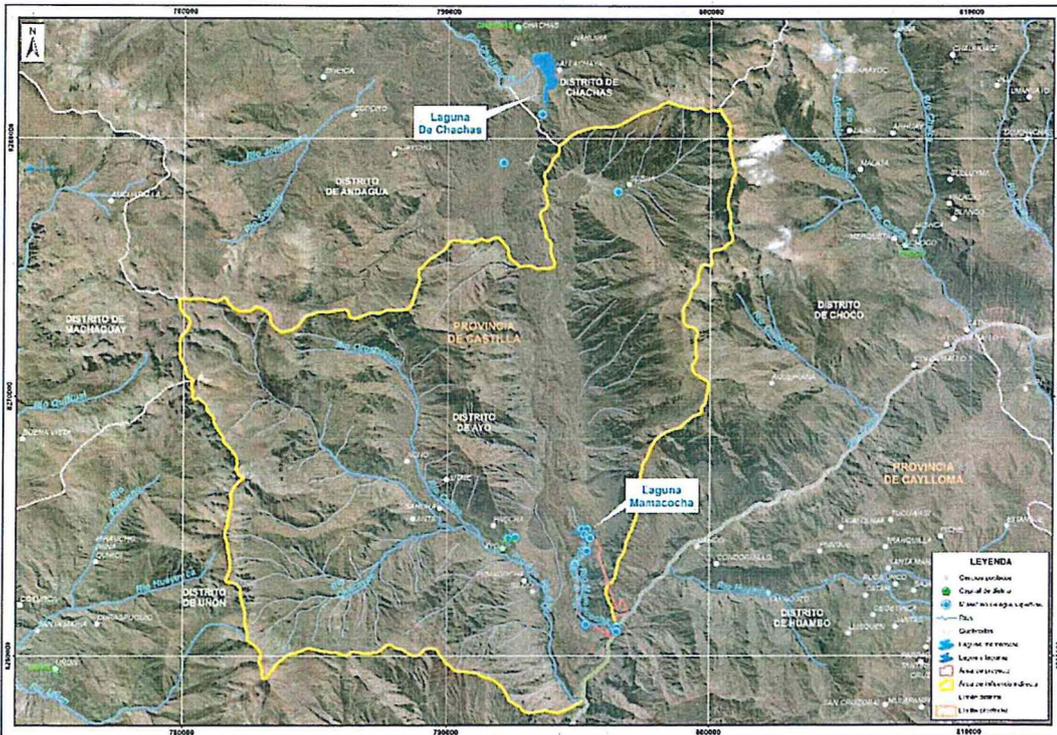


Figura 7-1. Distribución de puntos de muestreo de agua superficial en el área de influencia del proyecto central hidroeléctrica Laguna Azul

7.1. Comparación con los estándares aprobados en el IGA

7.1.1. Calidad de agua superficial

Los resultados de agua superficial (ríos, quebradas, lagunas y manantiales) fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017) de las categorías 1, 3 y 4 según corresponda.

⁸ Informe Técnico Sustentatorio (ITS) para la Modificación de componentes del Proyecto «Central Hidroeléctrica Laguna Azul» aprobado mediante Resolución Sub Gerencial Regional N.º 163-2017-GRA/ARMA-SGCA.

10/08/17



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Los resultados se exponen mediante representaciones gráficas, de aquellos parámetros evaluados que excedieron los ECA para Agua (2017). En el Anexo 2 se encuentra el detalle de los resultados de calidad de agua superficial de todos los parámetros evaluados, comparados con el estándar referido.

La evaluación en la zona de estudio comprendió el muestreo de 14 puntos de agua, de los cuales 6 se ubicaron en ríos, 5 en lagunas, 2 en canales y 1 en manantial. En la Tabla 7-1 se muestra el resumen de los parámetros que excedieron los valores de los ECA para Agua (2017), de las categorías Cat1A2, Cat3D1 y Cat3D2.

Tabla 7-1. Resultados de calidad de agua superficial que excedieron los ECA

Punto de muestreo	Octubre 2018 (época seca)		
	Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM		
	Categoría 1	Categoría 3	Categoría 4
QSub-1	-	Manganeso	-
RCol-1	-	Boro	-
LCha-1	-	-	Fósforo
LMam-1	-	-	Fósforo
LMam-2	-	-	Fósforo
LMam-3	-	-	Fósforo
LMam-4	-	-	Fósforo

-: no excede los ECA para Agua (2017), categorías 1,3 y/o 4.

La concentración de boro incumplió los ECA para Agua (2017), categoría 3 (subcategoría D1) en el punto RCol-1, respecto a los demás puntos todos cumplieron con dicho estándar (Figura 7-2).



Handwritten notes and signatures in blue ink.

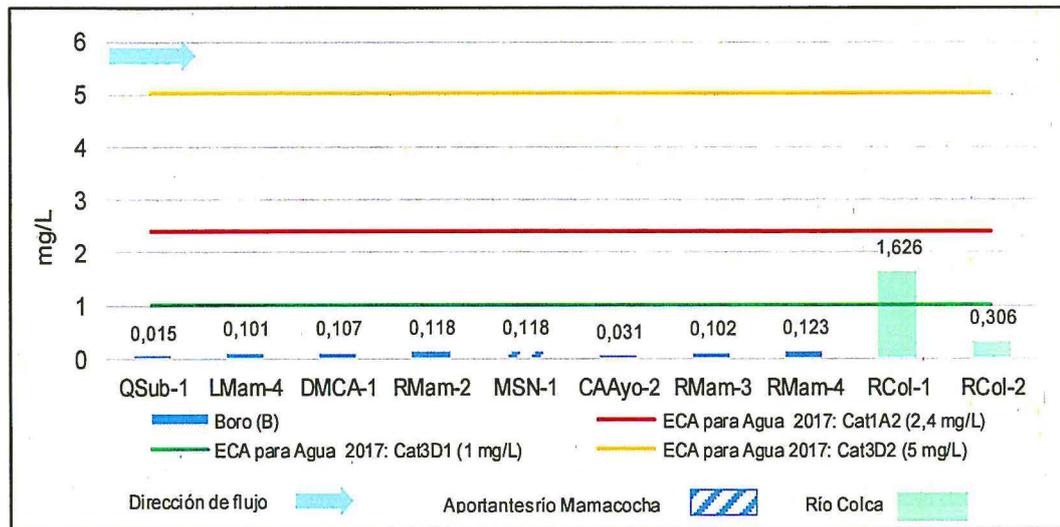


Figura 7-2. Concentración de boro comparada con los ECA para Agua (2017), Categoría 3: D1 y D2, además de la Categoría 1: A2

La concentración de manganeso incumplió los ECA para Agua (2017), categoría 3 (subcategorías D1 y D2), respecto a los demás puntos todos cumplieron con dicho estándar (Figura 7-3).



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»



Figura 7-3. Concentración de manganeso comparada con los ECA para Agua (2017) Categoría 3: D1 y D2, además de la Categoría 1: A2

En la evaluación de la laguna Chachas (LCha-1) y laguna Mamacochoa (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4), el parámetro fósforo incumplió los ECA para Agua (2017), Cat4E1 (Figura 7-4).



Handwritten notes and arrows: an upward arrow, a downward arrow, and the letters 'LPC' at the bottom.

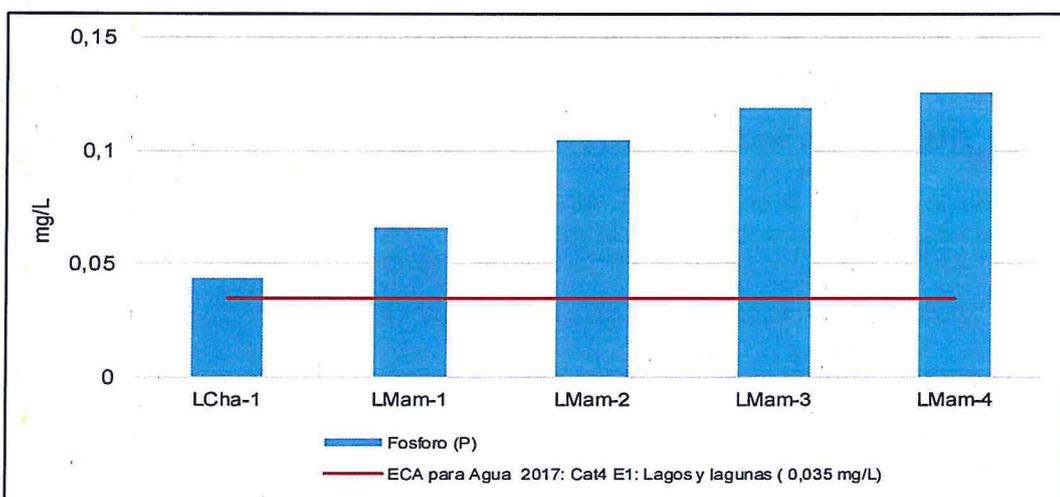


Figura 7-4. Concentración de fósforo comparada con los ECA para Agua (2017) Categoría 4: E1

7.2. Comparación referencial con estándares de nivel internacional

7.2.1. Sedimentos

En esta sección se presenta los resultados comparados con los valores de la guía canadiense para sedimentos de aguas continentales *Canadian Environment Quality Guidelines* [CEQG] que será denominada en adelante guía canadiense, los demás resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran en el Anexos 2.

En la Tabla 7-2 se presenta los resultados de sedimento obtenidos en los puntos evaluados en la laguna Chachas (LCha-1), laguna Mamacochoa (LMam-2) y río Mamacochoa (RMam-3) muestreados en el mes de octubre, los que han sido comparados referencialmente con los estándares de las guías canadiense (ISQG y PEL), donde se resalta que el arsénico, cobre, plomo, zinc y mercurio total superaron



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

el valor ISQG y/o PEL en al menos un punto evaluado, a diferencia del cadmio y cromo cuya concentración de sedimento no superó el ISQG y/o PEL en ningún punto evaluado.

Tabla 7-2. Resultados de parámetros de laboratorio para la calidad de sedimento

Código	Parámetros						
	arsénico (mg/Kg)	cadmio (mg/Kg)	cromo (mg/Kg)	cobre (mg/Kg)	plomo (mg/Kg)	zinc (mg/Kg)	mercurio Total (mg/Kg)
LCha-1	19,1	<1,0	9,5	28,3	48	103,4	0,25
LMam-2	<17,5	<1,0	28,9	1508	11	33,2	<0,10
RMam-3	<17,5	<1,0	5,9	26,8	14	161,8	<0,10
ISQG ^(a)	5,9	0,6	37,3	35,7	35	123	0,17
PEL ^(b)	17	3,5	90	197	91,3	315	0,486

Superó el valor ISQG
 Superó el valor PEL

(a) ISQG (*Interim Sediment Quality Guideline*): Concentración por debajo de la cual no se debe presentar efecto biológico adverso.
 (b) PEL (*Probable Effect Level*): Concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

7.3. Estudios especializados

7.3.1. Evaluación hidroquímica

La caracterización hidroquímica se enfocó en los puntos de muestreo en los ríos quebradas, lagunas y manantiales de la zona evaluada.

7.3.1.1. Relación de conductividad y suma de aniones y cationes

En la relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes⁹, se obtuvo la ecuación 7.1, de acuerdo con la relación línea de la Figura 7-5 (R² de 0,9968).

$$\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) = 0,2232 * \text{Suma de cationes } \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}}\right) - 12.519 \quad (7.1)$$

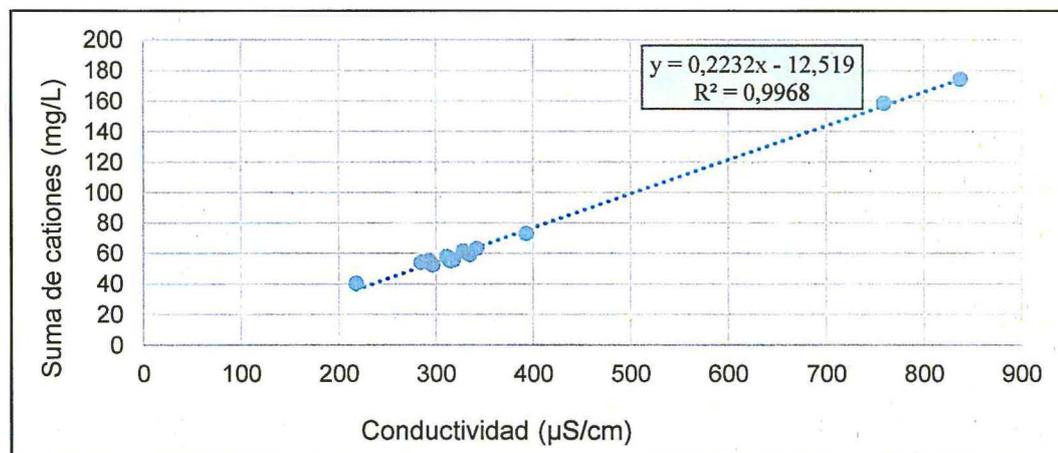


Figura 7-5. Relación lineal entre la conductividad y la suma de cationes de los puntos de muestreo

⁹ Para la suma de cationes, en adición a los principales: calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺), se consideraron los iones hidronio del pH (H₃O⁺) y los iones de los metales disueltos: aluminio (Al³⁺), hierro (Fe²⁺), manganeso (Mn²⁺), bario (Ba²⁺), estroncio (Sr²⁺) y litio (Li⁺).

J
 g
 f
 J
 RC



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Para el caso de la relación lineal entre la conductividad y la suma de aniones¹⁰, se obtuvo la ecuación 7.2, de acuerdo con la relación lineal de la Figura 7-6 (R² de 0,9648).

$$\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm}) = 0,539 * \text{Suma de aniones } \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}}\right) - 10,568 \quad (7.2)$$

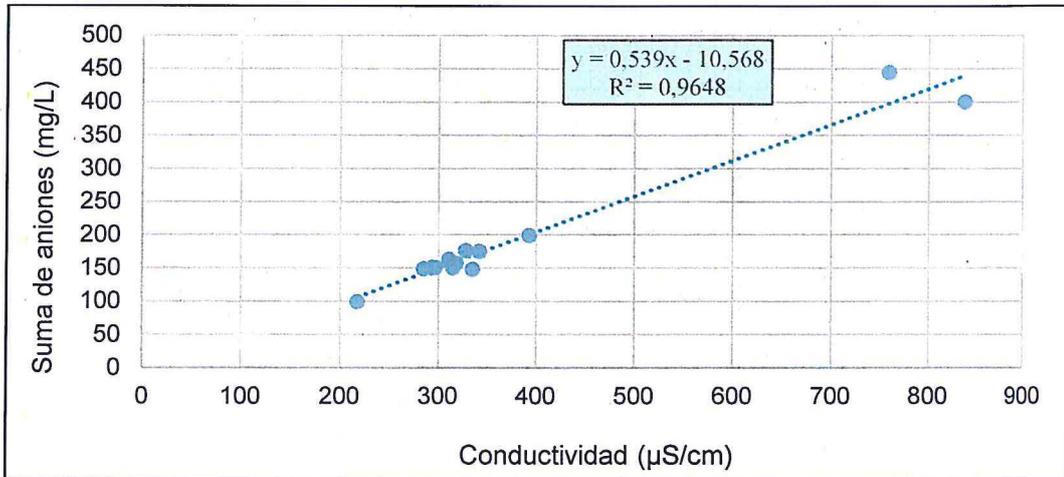


Figura 7-6. Relación lineal entre la conductividad y la suma de aniones de los puntos de muestreo

En las relaciones lineales obtenidas, las ecuaciones registraron un R² mayor a 0,9. Además tienen pendientes de 0,2232 para los cationes y de 0,539 para los aniones.

7.3.1.2. Porcentaje de metales disueltos

En esta subsección se consigna la relación porcentual entre el valor de los metales disueltos y el valor de los metales totales de agua, obtenidos en octubre de 2018. Esta relación se aprecia en la Tablas 7-3, en las que se resaltan en color amarillo los porcentajes mayores al 50 % (predomina el metal disuelto); en fucia los porcentajes menores al 50 % (no predomina el metal disuelto); y en verde, cuando los porcentajes son de 50 %. De esa manera, se tienen los resultados siguientes:

Los metales arsénico, boro, bario, calcio, cobre, potasio, litio, magnesio, molibdeno, sodio, silicio, estroncio y vanadio tiene predomio en forma disuelta.

El aluminio tiene predominio en su forma suspendida a excepción de los puntos QSub-1, RMam-3 y LMam-1.

El hierro tiene predominio en su forma suspendida a excepción de los puntos MSN-1, DMCA-1, RMam-3 y LMam-1.

¹⁰ Los aniones considerados son cloruros (Cl⁻), sulfatos, (SO₄²⁻), carbonatos (CO₃²⁻) y bicarbonatos (HCO₃⁻).



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Tabla 7-3. Porcentaje de metales disueltos en los puntos de muestreo de agua superficial en octubre de 2018

Parámetro	Unidad	QSub-1	RMam-2	MSN-1	DMCA-1	CAAyo-2	RMam-4	RCol-1	RCol-2	RMam-3	LCha-1	LMam-1	LMam-2	LMam-3	LMam-4
Aluminio (Al)	%	76%	7%	33%	17%	17%	10%	31%	23%	< 0,002	4%	< 0,002	13%	12%	6%
Arsénico (As)	%	100%	98%	98%	100%	83%	100%	87%	99%	100%	100%	100%	98%	99%	100%
Boro (B)	%	93%	81%	60%	79%	65%	74%	70%	95%	94%	85%	88%	79%	69%	87%
Bario (Ba)	%	93%	92%	95%	84%	82%	78%	75%	85%	96%	61%	98%	87%	90%	86%
Calcio (Ca)	%	99%	93%	93%	95%	95%	90%	100%	90%	97%	100%	97%	90%	94%	96%
Cadmio (Cd)	%	85%	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Cobalto (Co)	%	88%	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	3%	< 0,00001	3%	< 0,00001	< 0,00001	58%	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Cobre (Cu)	%	55%	74%	87%	93%	57%	61%	93%	61%	100%	100%	96%	83%	85%	98%
Hierro (Fe)	%	22%	2%	92%	48%	7%	9%	18%	13%	< 0,0004	17%	< 0,0004	1%	36%	30%
Potasio (K)	%	96%	91%	93%	93%	94%	90%	90%	92%	96%	99%	100%	91%	94%	94%
Litio (Li)	%	94%	92%	80%	97%	96%	95%	91%	95%	100%	100%	99%	95%	90%	93%
Magnesio (Mg)	%	96%	94%	95%	95%	98%	91%	92%	90%	96%	100%	98%	92%	89%	95%
Manganeso (Mn)	%	95%	79%	100%	100%	16%	43%	32%	55%	100%	81%	100%	100%	100%	100%
Molibdeno (Mo)	%	91%	93%	91%	93%	99%	88%	93%	88%	93%	100%	100%	94%	90%	93%
Sodio (Na)	%	95%	91%	96%	95%	100%	93%	90%	93%	96%	100%	96%	90%	94%	95%
Níquel (Ni)	%	77%	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	67%	50%	100%	< 0,0002	< 0,0002	100%	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Fosforo (P)	%	22%	54%	45%	50%	28%	53%	38%	50%	100%	34%	95%	60%	51%	52%
Plomo (Pb)	%	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	33%	50%	40%	100%	< 0,0002	54%	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	67%
Antimonio (Sb)	%	100%	100%	< 0,00004	72%	< 0,00004	100%	91%	100%	100%	100%	< 0,00004	< 0,00004	100%	< 0,00004
Silicio (Si)	%	88%	88%	76%	86%	78%	87%	85%	87%	98%	86%	97%	93%	85%	91%
Estroncio (Sr)	%	98%	100%	94%	90%	93%	95%	100%	89%	98%	97%	100%	94%	91%	92%
Titanio (Ti)	%	< 0,0002	< 0,0002	13%	< 0,0002	4%	6%	6%	13%	< 0,0002	2%	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	13%
Uranio (U)	%	< 0,000003	93%	100%	86%	97%	82%	98%	84%	100%	< 0,000003	94%	91%	95%	89%
Vanadio (V)	%	92%	88%	92%	90%	100%	87%	91%	87%	91%	66%	96%	87%	90%	86%
Zinc (Zn)	%	78%	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	96%	< 0,0100	100%	100%	< 0,0100	< 0,0100	< 0,0100	91%

- (<) : Menor al límite de cuantificación respectivo
- : Porcentaje de la forma disuelta del metal mayor al 50% del total
- : Porcentaje de la forma disuelta del metal menor al 50% del total
- : Concentración de la forma disuelta del metal igual a la concentración total

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA
 OEFA - TIA

J
 g
 J
 LRC



7.3.1.3. Hidroquímica

A continuación, se presenta la caracterización hidroquímica de puntos de muestreo ubicados en la zona de estudio en fuentes de agua superficial (quebradas, ríos, lagunas y manantiales).

- **Parámetros fisicoquímicos**

En la Tabla 7-4 se muestra todos los puntos monitoreados en el mes de octubre de 2018.

Tabla 7-4. Resultados de parámetros fisicoquímicos medidos en campo durante el muestreo

Parámetros			Octubre			
			Temperatura	pH	Conductividad	ORP
Unidades			°C	unidad de pH	µS/cm	mV
Zona de estudio	Quebrada Subna	QSub-1	21,4	7,12	335	206,8
	Río Mamacocha	RMam-2	18	7,78	311	147,4
	Manantial sin nombre	MSN-1	17,5	7,48	318	145,1
	Canal de la microcentral Ayo	DMCA-1	17,6	7,32	315	166,1
	Canal Ayo	CAAYo-2	16,6	8,32	759	140,5
	Río Mamacocha	RMam-4	21,6	8,11	328	99
	Río Colca	RCol-1	21,2	8,14	837	149,5
	Río Colca	RCol-2	21,4	8,14	393	161,1
	Río Mamacocha	RMam-3	18,9	8,08	342	125,7
	Laguna Chachas	LCha-1	19,5	8,06	218	122,1
	Laguna Mamacocha	LMam-1	18,7	7,31	293	147,1
	Laguna Mamacocha	LMam-2	17,4	7,28	294	152,7
	Laguna Mamacocha	LMam-3	18,3	7,16	297	203,3
Laguna Mamacocha	LMam-4	18,7	7,34	285	158,6	

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH medido en todos los puntos muestreados tuvo una variación neutra entre 7,12 a 8,32.

- **Temperatura**

La temperatura mínima registrada fue de 16,6 °C en el canal Ayo (CAAYo-2). Mientras que, la temperatura máxima fue 21,6°C en el punto en el río Mamacocha (RMam-4).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica en cuerpos de agua superficial tuvo una variación entre 218 a 393 µS/cm, a excepción de los puntos muestreados en el canal Ayo (CAAYo-2) y río Colca (RCol-1), que registraron 759 y 837 µS/cm, respectivamente.

- **Potencial de oxidación-reducción (ORP)**

El ORP en cuerpos de agua superficial tuvo una variación entre 122,1 y 206,8 mV, a excepción del punto RMam-4 (río Mamacocha) que registró 99 mV.

- **Facies hidroquímicas**





«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Para el estudio de facies hidroquímicas se han evaluado 14 muestras de agua superficial (río, quebradas, lagunas y manantiales) en la zona de estudio que comprende la microcuenca Mamacocha donde se evaluó 11 puntos; así como, el río Colca donde se evaluaron dos puntos (RCol-1 y RCol-2) y un punto en la laguna Chachas (LCha-1).

La representatividad de los resultados de los análisis químicos se ha determinado mediante el error balance iónico (en adelante, EBI).

El EBI se calculó tomando en cuenta los cationes: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), sodio (Na^+), aluminio (Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), bario (Ba^{2+}), estroncio (Sr^{2+}), litio (Li^+), cuyo valor máximo permitido es del 10% acorde a Megersa *et al.* (2015)¹¹. Los errores analíticos variaron de -4,83% a 1,60 % (Anexo 4).

▪ Diagrama de Piper y Stief

En la Figura 7-7 se puede observar el diagrama de Piper de los puntos muestreados en la zona de estudio correspondientes a fuentes de agua superficial (río, quebradas, lagunas y manantiales).



Handwritten notes: '19/10/2018' and 'LHC' with arrows pointing to the stamp and the figure respectively.

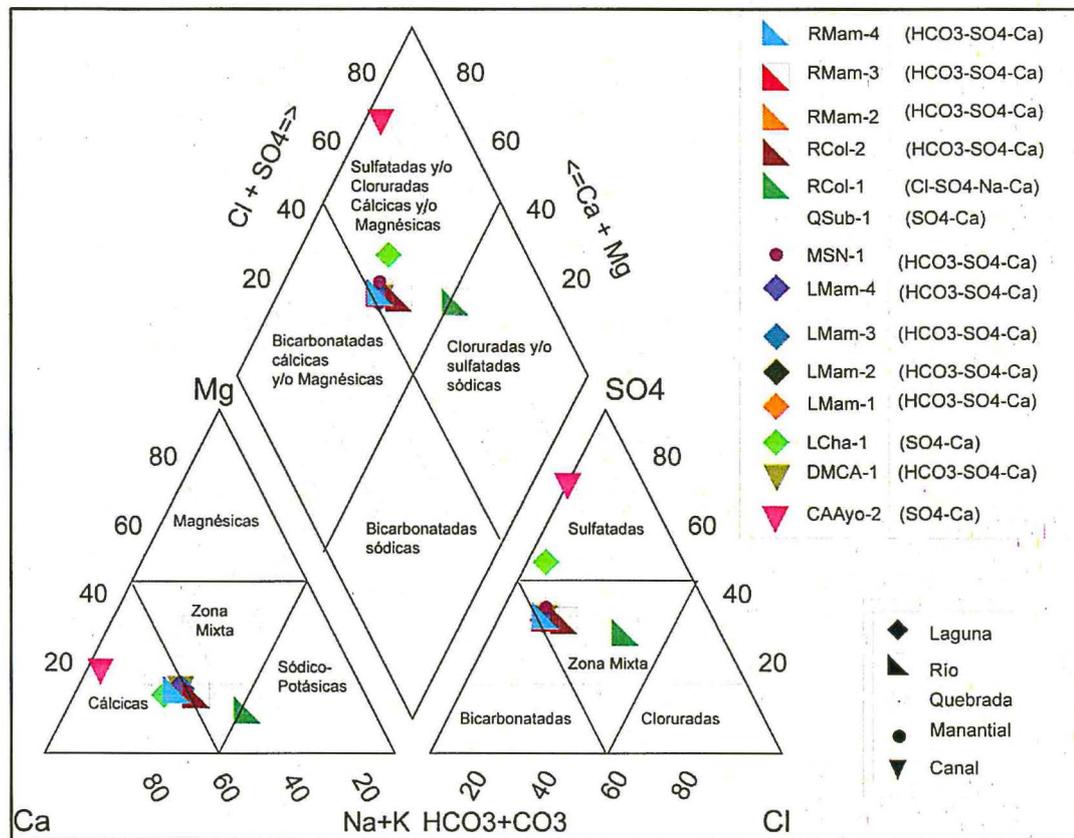


Figura 7-7. Diagrama Piper de los puntos muestreados en la zona de estudio - octubre (2018)

¹¹ Megersa Olumama Dinka, W. L. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.007.



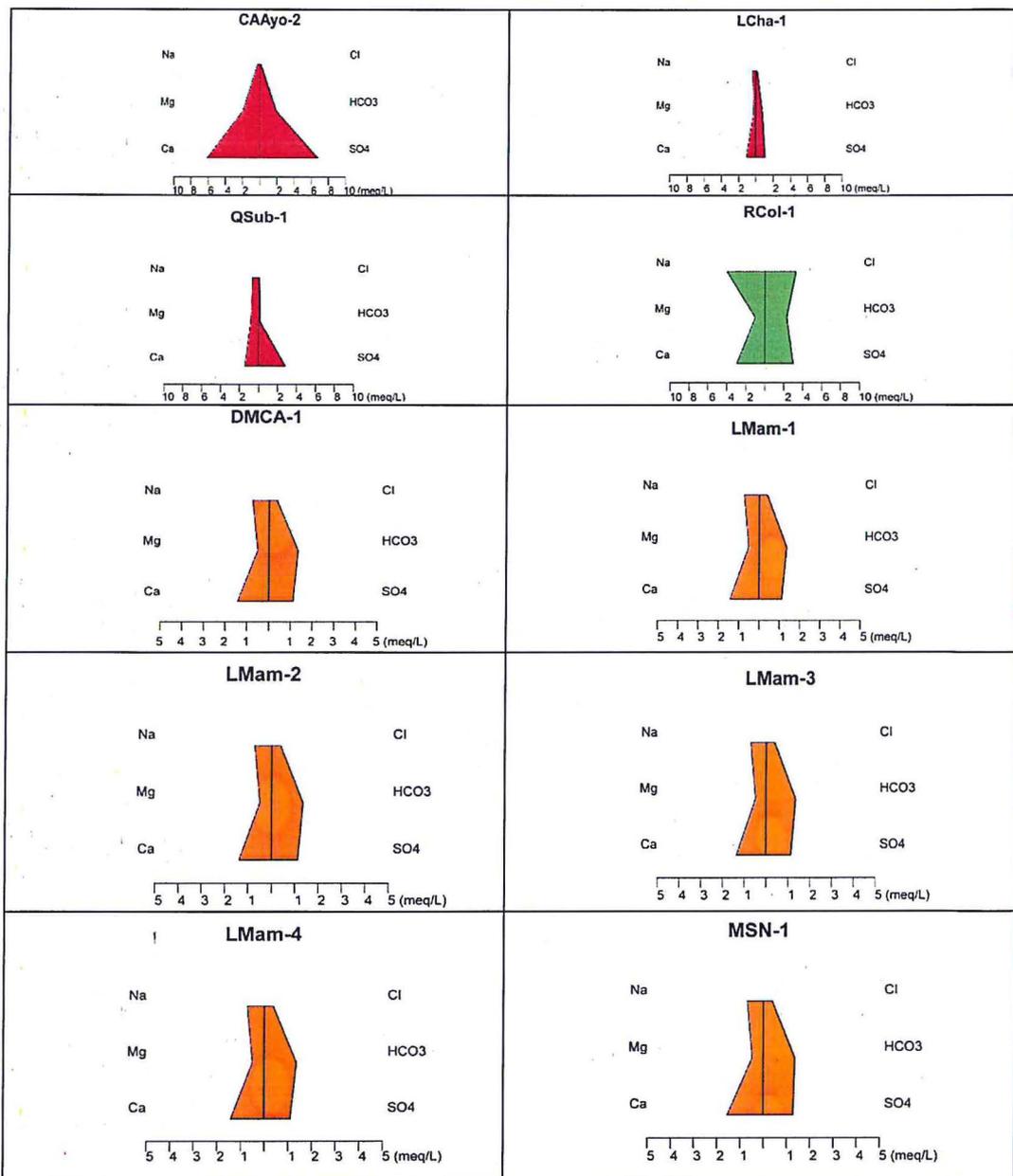
«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

De acuerdo con el diagrama de Piper, 10 puntos son agrupados en aguas bicarbonatada sulfatada cálcica, 3 puntos LCha-1, CAAyo-2 y QSub-1 en aguas de facies sulfatadas cálcicas; y el punto RCol-1 de facies clorurada sulfatada sódica cálcica.

En el diagrama de Stiff (Figura 7-8) se observa que, los 3 puntos de facies sulfatas cálcicas tuvieron una concentración menor a 2 meq/L (LCha-1 y QSub-1); y menor a 7 meq/L en el punto CAAyo-2. Además, el punto de facies clorurada sulfatada sódica cálcica (RCol-1) tuvo una concentración menor a 4 meq/L. Asimismo, en los 10 puntos de facies bicarbonatada sulfatada cálcica con predominancia de bicarbonato, la concentración fue menor a 2 meq/L en todos los puntos (DMCA-1, LMam-1, LMam-2, LMam-3, LMam-4, MSN-1, RCol-2, RMam-2, RMam-3 y RMam-4).



Handwritten notes and arrows pointing to the Piper diagrams.





«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

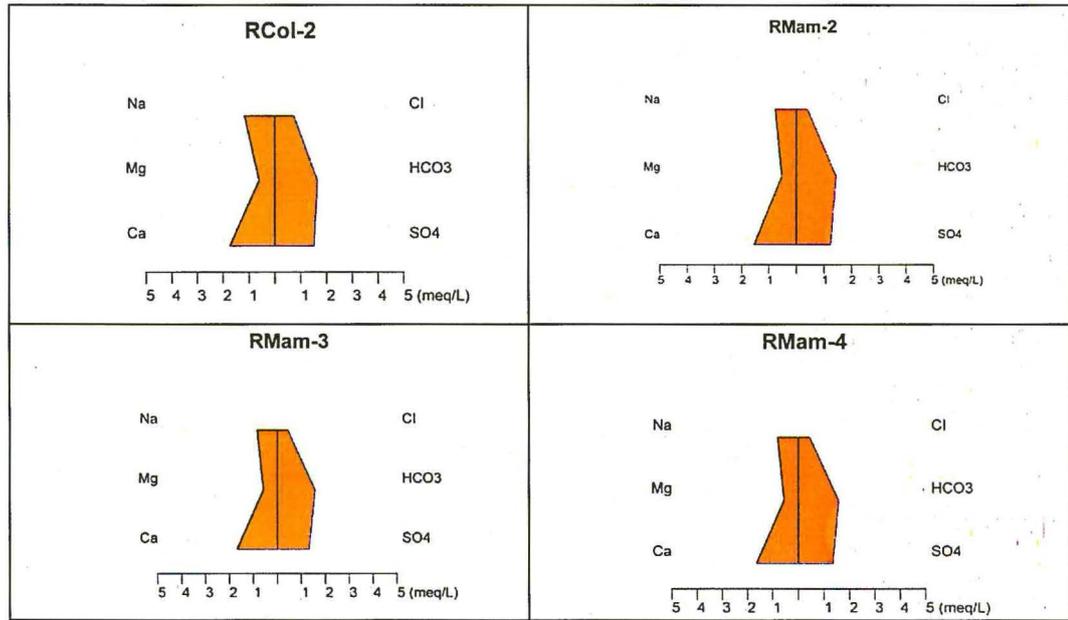


Figura 7-8. Diagrama Siff de los puntos muestrados en la zona de estudio - octubre (2018)

▪ Diagrama de Ficklin

En la Figura 7-9 se aprecia que de acuerdo con el diagrama de Ficklin todos los puntos de muestreo de agua superficial son clasificados cercanos a la neutralidad con baja concentración de metales.



Handwritten notes in blue ink: an arrow pointing up, followed by 'g', 'f', 'l', and 'LPC'.

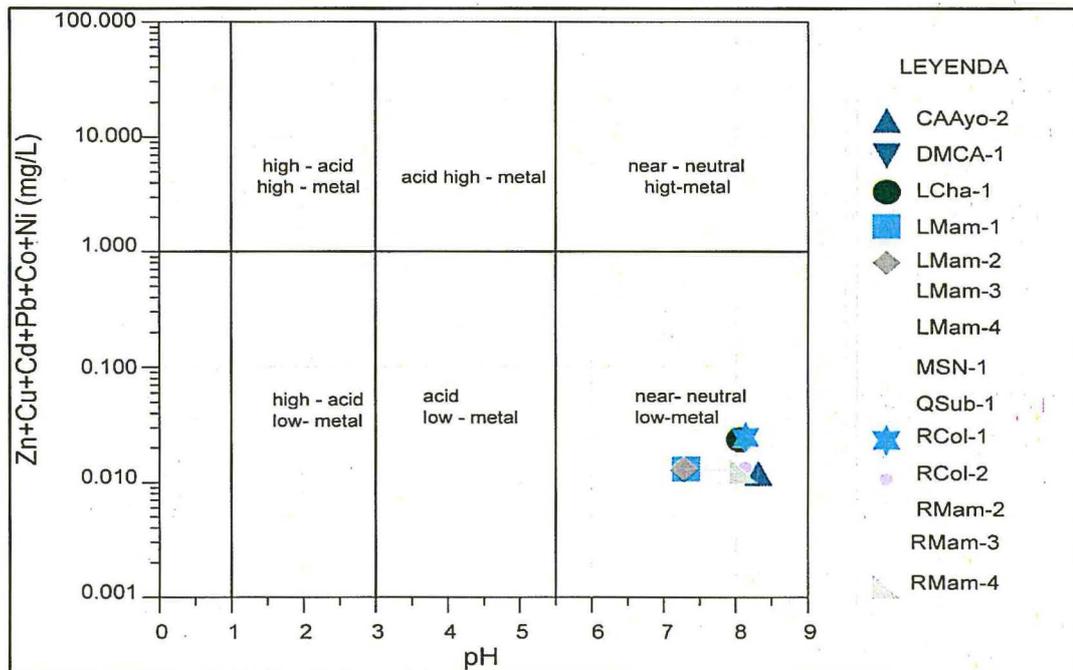


Figura 7-9. Diagrama Ficklin de los puntos muestrados en la zona de estudio - octubre (2018)

Fuente: Adaptado de Ficklin *et al.* (1992) y Plumlee *et al.* (1999)



9. CONCLUSIÓN

- Los valores de pH en los 14 puntos de agua superficial (río Mamacocha, quebrada Subna, manantiales, lagunas Chachas y Mamacocha) variaron entre 7,12 y 8,32 unidades de pH y los de oxígeno disuelto fluctuaron entre 5,96 y 8,26 mg/L, cuyos resultados cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017), categorías 1(A2), 3 y 4 (E1).
- Los parámetros evaluados en los puntos de agua superficial (río Mamacocha, quebrada Subna, manantiales, lagunas Chachas y Mamacocha) cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017), categorías 1(A2) y 3, a excepción de boro y manganeso que incumplieron este estándar en los puntos RCol-1 (Cat3D1) y QSub-1 (Cat3D1 y Cat3D2), respectivamente.
- Los parámetros evaluados en las lagunas Chachas (LCha-1) y laguna Mamacocha (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4) cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (2017), categoría 4; a excepción del fósforo que incumplió los ECA para Agua (2017) en la subcategoría E1 en todos los puntos evaluados.
- La laguna Mamacocha (LMam-1, LMam-2, LMam-3 y LMam-4), río Mamacocha (RMam-2, RMam-3 y RMam-4), manantial (MNS-1), canal microcentral (DMCA-1) y el río Colca (RCol-2) presentaron facies bicarbonatadas sulfatadas cálcicas con predominancia de bicarbonatos; además, la laguna Chachas (LCha-1), el canal de riego (CAAyo-2) y la quebrada Subna (QSub-1) presentaron facies sulfatadas cálcicas; y el río Colca (RCol-1) presentó facies clorurada sulfatada sódica cálcica. Asimismo, de acuerdo con el diagrama de Ficklin todos los puntos evaluados se clasifican como aguas casi neutras con baja concentración de metales.
- El aluminio predominó en su forma suspendida en todos los puntos evaluados, de igual forma el hierro a excepción de los puntos MSN-1, DMCA-1, RMam-3 y LMam-1. Mientras que, en su forma disuelta predominó el arsénico, boro, bario, calcio, cobre, potasio, litio, magnesio, molibdeno, sodio, silicio, estroncio y vanadio.

10. ANEXOS

- Anexo 1: Mapas
- Anexo 2: Reportes de resultados
- Anexo 3: Reportes de campo
- Anexo 4: Error de Balance Iónico
- Anexo 5: Acta de ejecución - 2018

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnórsson S. (2000). *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use*. Volume 139. Vienna: International Atomic Energy Agency.

Custodio, E. y M. R. Llamas. (1976). *Hidrología Subterránea. – Tomo I y II*. Barcelona, España: Ed. Omega

Custodio, E. y M. R. Llamas. (1996). *Hidrología Subterránea (Segunda Edición)*. Barcelona, España: Ed. Omega



↑
↓
g
g
↓
HPC



«Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres»
«Año del diálogo y la reconciliación nacional»

Ficklin W.H., G.S. Plumlee, K.S. Smith y B. McHugh J. (1992). *Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas*. En: Y. Kharaka, A. Maest (Eds.), *Proceedings of water-rock interaction* (pp 381–384). Rotterdam: Balkema.

Nordstrom, D., R. Blaine McCleskey y J. Ball (2009). Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid–sulfate waters. *Applied Geochemistry*, 24, 191-207.

Plumlee, G., Smith, K., Montour, M., Ficklin, W., & Mosier, E. (1999). Geologic Controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types. (L. Filipek, & G. Plumlee, Edits.) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B: case studies and research topics, vol 6B. Society of Economic Geologists*, 373-432.

Moreno, D. y Duque, Juan. (2015). Estudio de aprovechamiento de aguas subterráneas bombeadas por los predios del polígono compuesto por las calles. Tesis para optar el grado de: Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.



↑
↓
g
↓
↓
IPC